



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ISSN: 2664-7362



РУССКИЙ ЦЕНТР

## МАТЕРИАЛЫ

### VI Международной научной конференции

# Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности



Том 2

Физические и технические науки



## Дорогие коллеги!

В Донецком национальном университете стало традиционным проведение международных научных конференций «Донецкие чтения». Они организуются ежегодно, начиная с 2016 года.

В 2021 году Международная научная конференция «Донецкие чтения: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» проходит в шестой раз и принадлежит к числу наиболее масштабных и значимых научных мероприятий в Донецкой Народной Республике.

С каждым годом эти конференции вызывают все больший интерес в отечественном и зарубежном научно-образовательном пространстве. Постоянно расширяется состав их участников, перечень выносимых на обсуждение научных проблем. Число представляемых докладов за годы проведения конференций возросло более чем в два раза.

В 2021 году VI Международная научная конференция «Донецкие чтения: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» проводится при поддержке Главы ДНР, Общественной организации «Русский Центр», Совета ректоров вузов ДНР. В ее подготовке и проведении активное и деятельное участие принимают научные организации Донецкой Народной Республики, входящие в состав академического консорциума «Научно-образовательный и инновационный комплекс ДонНУ».

Конференция представлена 67 секциями, которые отражают достижения по широкому спектру научных направлений – от фундаментальной математики и цифровых компьютерных технологий до проблем культуры, духовности, искусства. Данный сборник является одинадцатым изданием, включающим 16 книг общим объемом более пяти тысяч страниц.

Свои доклады на VI Международную научную конференцию «Донецкие чтения: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» по результатам выполненных фундаментальных и прикладных исследований прислали известные специалисты и молодые ученые из многочисленных научно-образовательных организаций, представляющие Донецкую и Луганскую народные республики, Российскую Федерацию и целый ряд зарубежных государств. Уверенность в успешной работе конференции придает единодушие всех участников из многих уголков Русского мира: Москвы, Рязани, Ростова, Воронежа, Ставрополя, Краснодар, Минска, Цухуми, Цхинвала, Республики Крым.

Проведение VI Международной научной конференции «Донецкие чтения: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» будет способствовать решению новых актуальных задач фундаментальной и прикладной науки, технологий, внесет свой вклад в инновационное развитие Донецкой Народной Республики, в дальнейшее укрепление творческих контактов ученых, педагогов, деятелей культуры и искусств стран-участниц.

Пусть наша конференция станет местом для дальнейших интересных и плодотворных встреч. Уверена, что результаты работы будут полезны всем участникам, а предложенные рекомендации найдут свое применение в дальнейшей практической деятельности каждого из нас!

Ректор, доктор физико-математических наук, профессор  
С.В. Беспалова

Министерство образования и науки  
Донецкой Народной Республики  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Донецкий национальный университет»  
Русский Центр

## VI Международная научная конференция

Материалы  
конференции

**Том 2**

**ФИЗИЧЕСКИЕ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ  
НАУКИ**

# **Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности**

г. Донецк  
26–27 октября 2021 г.

Донецк  
Издательство ДонНУ  
2021

ББК Б.я431 + 397я431  
УДК 53+62+004(043.2)  
Д672

*Редакционная коллегия:*

С.В. Беспалова (главный редактор), М.В. Фоменко (отв. секретарь),  
В.А. Дубровина, В.И. Сторожев, С.А. Фоменко, И.А. Третьяков,  
Г.В. Аверин, П.В. Асланов, А.В. Безус, В.В. Данилов, А.Г. Петренко

**Д672 Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности:** Материалы VI Международной научной конференции (Донецк, 26–27 октября 2021 г.). – Том 2: *Физические и технические науки* / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2021. – 306 с.

*Ответственность за содержание материалов, аутентичность цитат, правильность фактов и ссылок несут авторы.*

Во второй том материалов VI Международной научной конференции «Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» вошли исследования по актуальным проблемам физических и технических наук. Рассматриваются вопросы физики неравновесных процессов, стандартизации и метрологии, прикладной экологии, теоретической физики и нанотехнологий, радиофизики, инфокоммуникационных и компьютерных технологий.

Освещенные в сборнике проблемы и направления их решения будут полезны научным работникам, преподавателям, студентам, аспирантам и докторантам, проводящим исследования в области физических и технических наук.

ББК Б.я431 + 397я431  
УДК 53+62+004(043.2)

© Коллектив авторов, 2021

© Донецкий национальный университет, 2021

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

### ***Председатель:***

*Беспалова С.В.*, д-р физ.-мат. наук, профессор, ректор Донецкого национального университета (г. Донецк).

### ***Заместитель председателя:***

*Бабурин С.Н.*, д-р юрид. наук, профессор, главный научный сотрудник Института государства и права РАН, Президент Международной славянской академии наук, образования, искусств и культуры, Президент Ассоциации юридических вузов (г. Москва).

### ***Члены программного комитета:***

*Аваков С.Ю.*, д-р экон. наук, профессор, ректор Таганрогского института управления и экономики (г. Таганрог).

*Андреев Д.А.*, канд. ист. наук, доцент, заместитель декана по научной работе исторического факультета Московского государственного университета (г. Москва).

*Аноприенко А.Я.*, канд. техн. наук, профессор, ректор Донецкого национального технического университета (г. Донецк).

*Болнокин В.Е.*, д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотр., руководитель Центра подготовки научных кадров ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова» (г. Москва).

*Васьков М.А.*, д-р социол. наук, профессор Института истории и международных отношений Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону)

*Воронова О.Е.*, д-р филол. наук, профессор, профессор кафедры журналистики, руководитель Есенинского научного центра Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина, член Общественной палаты Российской Федерации, член Союза писателей и Союза журналистов России (г. Рязань).

*Евстигнеев М.П.*, д-р физ.-мат. наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Севастопольского государственного университета (г. Севастополь)

*Зайченко Н.М.*, д-р техн. наук, профессор, ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (г. Макеевка).

*Кишкань Р.В.*, председатель Государственного комитета по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики (г. Донецк).

*Кожухов И.Б.*, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры высшей математики НИУ «Московский институт электронной техники» (г. Москва).

*Куролан С.А.*, д-р геогр. наук, профессор, декан факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета (г. Воронеж).

*Минаев А.И.*, д-р ист. наук, профессор, ректор Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина (г. Рязань).

*Нечаев В.Д.*, д-р полит. наук, ректор Севастопольского государственного университета (г. Севастополь).

*Полищук В.С.*, д-р техн. наук, директор ГУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон» (г. Донецк).

*Половян А.В.*, д-р экон. наук, профессор, Министр экономического развития Донецкой Народной Республики, и.о. зав. кафедрой менеджмента Донецкого национального университета (г. Донецк).

*Приходько С.А.*, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., директор ГУ «Донецкий ботанический сад» (г. Донецк).

*Решидова И.Ю.*, канд. физ.-мат. наук, директор ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» (г. Донецк).

*Рябичев В.Д.*, д-р техн. наук, профессор, ректор Луганского государственного университета имени Владимира Даля (г. Луганск).

*Савоськин М.В.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр., директор ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко» (г. Донецк).

*Скафа Е.И.*, д-р пед. наук, профессор, проректор Донецкого национального университета (г. Донецк).

*Соболев В.И.*, д-р биол. наук, профессор кафедры здоровья и реабилитации Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского (г. Ялта).

*Сторожев В.И.*, д-р техн. наук, профессор, проректор Донецкого национального университета (г. Донецк).

*Судаков С.Н.*, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., и.о. директора ГУ «Институт прикладной математики и механики» (г. Донецк).

*Тедеев В.Б.*, канд. техн. наук, профессор, ректор Юго-Осетинского государственного университета имени А.А. Тибилова (г. Цхинвал).

*Третьяков В.Т.*, профессор, декан Высшей школы телевидения Московского государственного университета (г. Москва).

*Шемякина Н.В.*, канд. экон. наук, доцент, директор ГБУ «Институт экономических исследований» (г. Донецк).

# *Физика неравновесных процессов*

УДК 621.924.93:532.522

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОСТРУЙНОЙ РЕЗКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Асланов П.В.*, канд. физ.-мат. наук, *Фоменко С.А.*, *Манзенюк Е.Н.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*aslanov.fnpme@gmail.com*

**Введение.** Одним из прогрессивных направлений в обработке материалов резанием является использование энергии сверхзвуковой струи жидкости, истекающей под большим давлением через сопло малого диаметра.

Обработка материалов сверхзвуковой струей жидкости имеет определённую технологичность, а также большую, по сравнению с традиционными методами, производительность, так как: гидрорезание позволяет заменить ручную обработку для деталей со сложными поверхностями; струя приближается к идеальному точечному инструменту, что даёт возможность обрабатывать изделия сложного профиля с любым радиусом закругления; рез можно начинать в любой точке обрабатываемого материала и нет необходимости в начальном отверстии; ширина реза 0,3-1,0 мм, что позволяет снизить отходы материала в стружку по сравнению с традиционной разрезкой в 15-20 раз; силы резания небольшие (до 100 Н), что исключает деформацию материала в прилегающей к зоне резания области улучшает качество обработки, при этом отпадает необходимость в жестком закреплении детали с помощью сложных и громоздких зажимных приспособлений; температура резания (60-95 °С) не вызывает термодеструкцию при обработке полимерных материалов и отрицательных воздействий на физико-механические свойства обрабатываемых материалов; гидрорезание позволяет полностью автоматизировать процесс обработки и производить её для любого материала, в том числе и для не проводящих ток (в отличие от электрохимических и электрофизических методов). При этом уменьшается шум и полностью ликвидируется запылённость рабочего места. Кроме того, указанный способ обработки материалов позволяет применять его для резания под водой и во взрывопожароопасных условиях [1-3].

**Основная часть.** В настоящей работе проведены исследования возможности обработки различных конструкционных материалов с помощью высокоскоростных струй жидкости. Для увеличения режущей способности в водную струю вводится абразив.

Типичные результаты для струи с давлением истечения 250 МПа и мощностью 33 кВт при расходе абразива 0,2 кг/мин приведены в таблице.

Таблица

Материал	толщина, мм	Скорость резания, мм/мин
Мягкая сталь	25	205
нержавеющая сталь	6	150
инструментальная сталь	5	40
алюминий	15	600
стекло	10	500

Большое влияние на компактность струи, её режущие свойства и возможность обрабатывать тот или иной материал оказывает состав рабочей жидкости, являющейся технологической средой, непосредственно воздействующей на обрабатываемый материал. Добавка в воду растворимых высокомолекулярных полимеров приводит к улучшению гидродинамических параметров струи и, как следствие, увеличению производительности процесса резки, расширению технологических возможностей струи как инструмента.

Разрушающая способность струи во многом зависит от строения молекул в полимерных растворах и его концентрации. На рис. 1 приведена зависимость глубины реза материала (алюминий) от расстояния его до сопла при различной концентрации полиэтиленоксида в воде (1-4 –  $C=0,05$ ;  $0,025$ ;  $0,0125$  и  $0$  %, соответственно). Так, при обработке материала струей чистой воды и струей раствора полиоксиэтилена с давлением истечения 240 МПа и диаметром сопла 0.25 мм при скорости подачи материала 25 мм/с было отмечено, что глубина реза резко возрастает при увеличении концентрации полиоксиэтилена в воде и достигает максимума при  $C=0.05$  %, дальнейшее увеличение концентрации роста эффективности обработки не вызвало.

На рис. 2 приведены результаты эксперимента по разрезке листовых материалов (текстолит) водой (3), водными растворами полиакриламида с молекулярной массой  $2 \cdot 10^6$  (1) и полиоксиэтилена с молекулярной массой  $4 \cdot 10^6$  (2) в виде зависимости скорости подачи материала относительно струи от концентрации полимера.

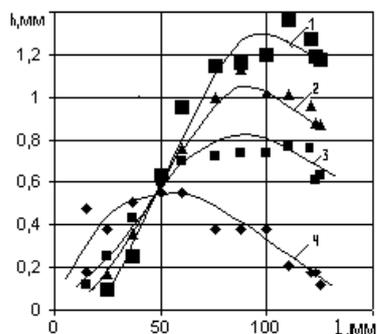


Рис. 1

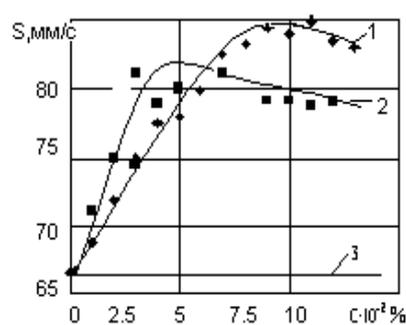


Рис. 2

Из представленных данных видно, что производительность гидрорезания возрастает (по сравнению с водой) при использовании полиэтиленоксида на 22-30 %, полиакриламида на 25-35 %.

Из-за обилия влияющих факторов для оптимизации требуются обширные данные для каждого из применений. Приведенные в таблице и на рисунках данные представительны, но не обязательно оптимальны для данного материала.

**Заключение.** Проведенные экспериментальные исследования также показали, что использование в качестве рабочих жидкостей растворов высокомолекулярных полимеров – полиакриламида (ПАА) и полиэтиленоксида (ПЭО) позволяет:

- увеличить расход рабочей жидкости за счёт снижения гидравлических потерь в подводящих трубопроводах в 1,2-1,6 раза;
- повысить стойкость сопел к износу при их эксплуатации и, тем самым, увеличить срок их службы;
- уменьшить ширину реза, что приводит к уменьшению работы на единицу его длины, снизит отходы материала и повысит «экологичность» процесса гидрорезания в целом;
- уменьшить (вплоть до полного исключения) содержание абразива в струе что существенно увеличивает ресурс работы гидроразрезного оборудования и уменьшает количество вторичных отходов.

#### **Список литературы**

1. Гидрорезание судостроительных материалов / Р. А. Тихомиров, В. Ф. Бабанин, Е. Н. Петухов и др. – Л.: Судостроение, 1987. – 164 с.
2. Radiation Hardened Telerobotic Chassis Construction /report on contract N B313820 with LLNL, University of California, 1995, IBSRI MP "Ritm", Kiev, Chernobyl, 140 p.
3. Симоненко А. П. Решение проблем экологии и техногенно-экологической безопасности путем применения гидродинамически-активных композиций / А. П. Симоненко, П. В. Асланов, А. Ю. Собко, С. А. Фоменко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 1. – С. 73-94.

УДК 669.18:001.891.54.

## **РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО РЕЖИМА НАГРЕВА ШЛАКА ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ**

***Беззуб А.А.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*aabzzz95@mail.ru*

**Введение.** Внепечная обработка стали продувкой аргоном находит широкое применение в современной металлургии. В ковше проходят различные технологические операции по доводке стали. Весьма

перспективна продувка (барботаж) металла. Благодаря продувке можно достичь необходимой гомогенизации по составу и температуре. Гидродинамические и теплофизические процессы в ковшевой металлургии мало изучены, а это является причиной выбора нерациональных продувочных режимов. А нерациональное использование ресурсов, в свою очередь, приводит к завышенным энергозатратам. Эти вопросы представляют огромный интерес для металлургии, однако их решение путем лабораторного или промышленного эксперимента слишком затратно и малоэффективно. Поэтому цель работы – исследование гидродинамических потоков, разработка математической модели и вычислительного алгоритма для теплофизических процессов в ванне ковша при внепечной обработке стали продувкой аргоном.

**Основные формулы математической модели.** Теплофизические и гидродинамические процессы в ковше описываются [1]:

Уравнением теплопроводности:

$$c\rho \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] = \lambda \Delta T. \quad (1)$$

Уравнением Навье-Стокса покомпонентно и уравнением неразрывности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right); \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial w^2}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \bar{g} \beta \Delta T + \bar{g} \beta_{\Gamma}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (5)$$

где  $c$  – теплоемкость при  $P=\text{const}$ ;  $\rho$  – плотность расплава;  $T$  – текущая температура;  $t$  – текущее время;  $u, v, w$  – компоненты скорости по координатам  $x, y, z$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $P$  – давление;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\beta$  – коэффициент объемного расширения;  $\beta_{\Gamma}$  – коэффициент газосодержания [2].

Метод сеток или метод конечных разностей является одним из наиболее универсальных для решения уравнений переноса. В данном методе область непрерывного изменения аргумента заменяется дискретным множеством точек, так называемых узлов, которые образуют пространственно-временную разностную сетку [3]. Таким образом от уравнений в переменных скорость  $V$ , давление  $P$ , избавляются и заменяют на систему уравнений в переменных вихрь  $\omega$ , функция тока  $\psi$ . Применение разностной схемы в неявном виде для уравнений переноса позволяет повысить устойчивость алгоритма, а также увеличить допустимые значений шага  $\Delta t$ .

**Результаты численного эксперимента.** На рис. 1 показана динамика нагрева шлака на поверхности металла в ковше в плоскостях XZ на правом рисунке и YZ на левом рисунке.

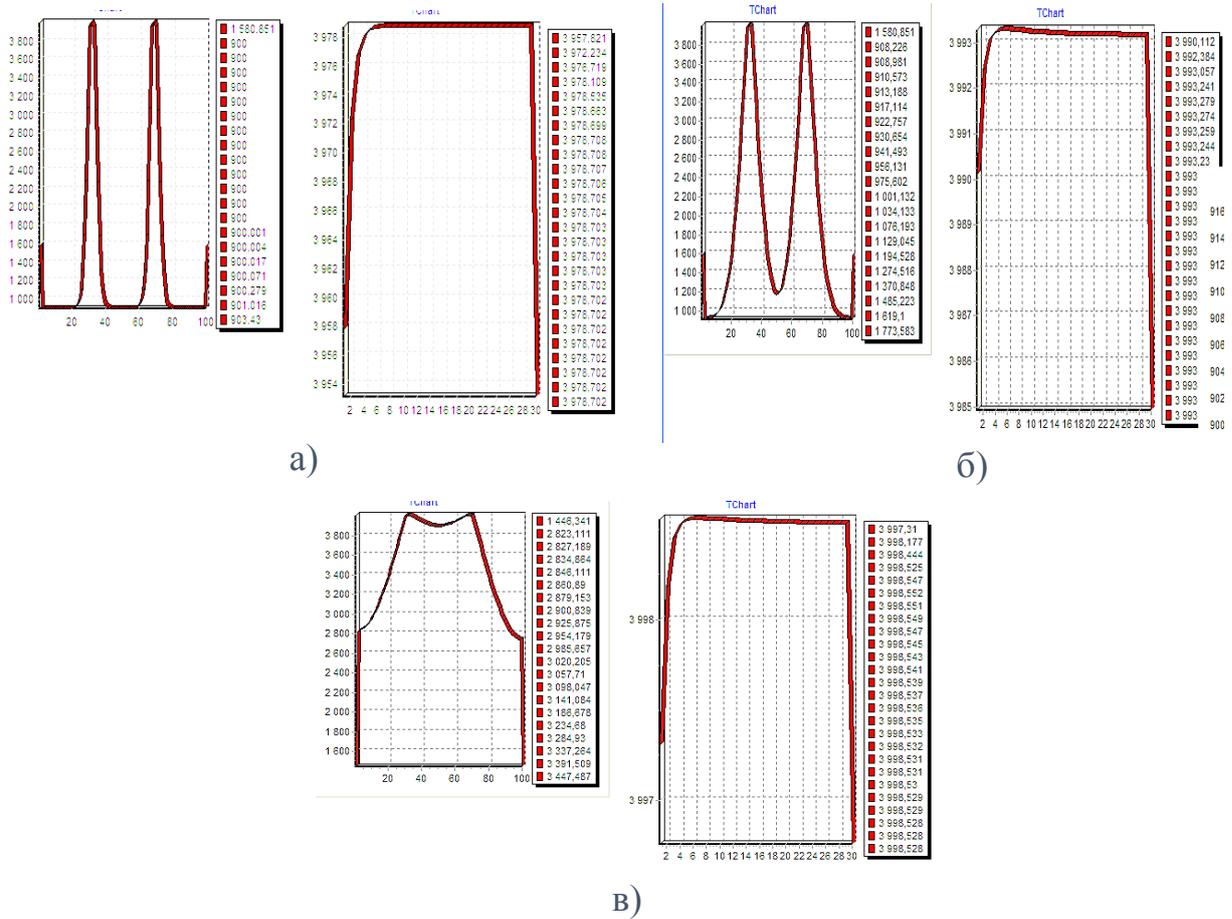


Рис. 1. Распределение температуры в плоскостях XZ и YZ в момент времени 10 с, 5 мин и 10 мин

На рис. 1 в первые секунды видно четкую границу нагрева. Уже через 10 минут жидкий шлак покрывает всю поверхность металла и выполняет функцию нагревателя расплава, а также его рафинирования.

На рис. 2 изображено распределение температуры для разных режимов нагрева шлака.

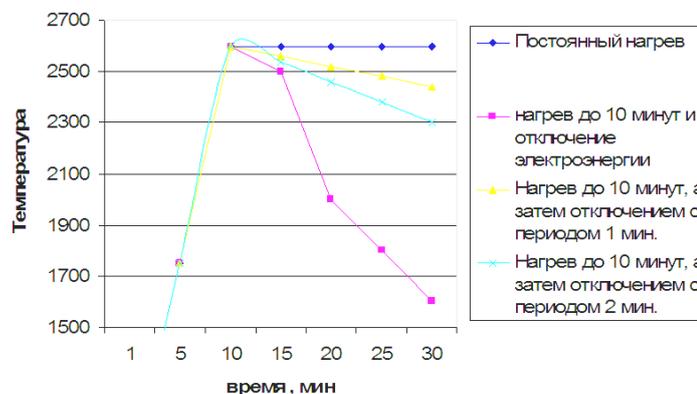


Рис. 2. Распределение температуры для разных режимов нагрева шлака

Посмотрев на рис. 2 становится видно, что благодаря периодическому отключению электродов можно сэкономить электроэнергию. Благодаря численному моделированию было выявлено, что наименее энергозатратным режимом является нагрев шлака сроком до 10 минут, а затем отключении электроэнергии с периодом в 2 минуты. При этом режиме температура шлака в течении всего технологического процесса не падает ниже необходимой, а именно 2200 К.

**Заключение.** В результате данной работы была разработана математическая модель и вычислительный алгоритм для теплофизических процессов в ванне ковша, которые позволят решить проблему энергосбережения путём выбора оптимального режима нагрева шлака.

### Список литературы

1. Лейбензон В. А. Затвердевание металлов и металлических композиций / В. А. Лейбензон, Ф. В. Недопекин, В. В. Белоусов и др. – Киев: «Наукова думка», 2009. – С 265–272.
2. Белоусов В. В. Численное моделирование процессов перемешивания при продувке ванны агрегата «ковш-печь / В. В. Белоусов, Е. И. Куликов, В. Ф. Комаров // Математичне моделювання. – 2007. – № 2 (17). –С. 61-63.
3. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 736 с.

УДК 536:621

## ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ КРИСТАЛЛИЗАТОРА В УСТАНОВКЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЯ

***Бодряга В.В.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*vvbod@yandex.ru*

**Введение.** Повышение качества металлопродукции из алюминия во время затвердевания в машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) является актуальной проблемой. Задача определения рациональных геометрических параметров МНЛЗ с целью управления формированием их структуры и свойств, полностью не решена [1-4].

**Постановка задачи определения рациональной высоты кристаллизатора.** Рассмотрим следующую математическую модель процесса с использованием уравнения Навье-Стокса в цилиндрических координатах и переменных вихрь, функция тока. Тепловые процессы описываются уравнением теплопереноса. В граничных условиях, которые их замыкают учитывается два этапа: этап наполнения МНЛЗ и этап затвердевания.

Для решения задачи определения рациональных геометрических параметров МНЛЗ применяется подход, который заключается в изучении процессов затвердевания, и моделировании его с помощью компьютера. Задача поиска рациональной высоты кристаллизатора заключается в требовании минимальности целевого функционала, который зависит от параметра управления [2].

Необходимо найти рациональную высоту кристаллизатора, при которой градиенты температуры в твердой корочке слитка минимальны с учетом ограничения на увеличение объема жидкой лунки. Получим следующий критерий оптимальности:

$$J = \int_0^{L_x} \int_0^{L_y} (T_x^2 + T_y^2)^{1/2} \Theta(T - T_L) dx dy + \chi \int_0^{L_x} \int_0^{L_y} \Theta(T - T_S) dx dy \quad (2)$$

где  $T_x, T_y$  – компоненты градиента температуры, зависящие от параметра оптимизации  $h$  (высоты кристаллизатора),  $T_L$  и  $T_S$  – температура ликвидуса и солидуса,  $\chi$  – весовой коэффициент,  $\Theta(T - T_S) = \begin{cases} 1, & T \leq T_L \\ 0, & T > T_L \end{cases}$  и

$\Theta(T - T_L) = \begin{cases} 1, & T \geq T_S \\ 0, & T < T_S \end{cases}$  –  $\Theta$ -функции.

Алгоритм (см. рис.), который применяется для определения рациональной высоты кристаллизатора, использует прямой экстремальный подход, основанный на минимизации функционала  $J$  с регулируемым направлением спуска [1]:

$$h^{k+1} = h^k - \alpha^k \nabla_h J^k, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент градиентного спуска.

$$\alpha^k = \frac{0,1h^0}{|\nabla_h J|} \quad (4)$$

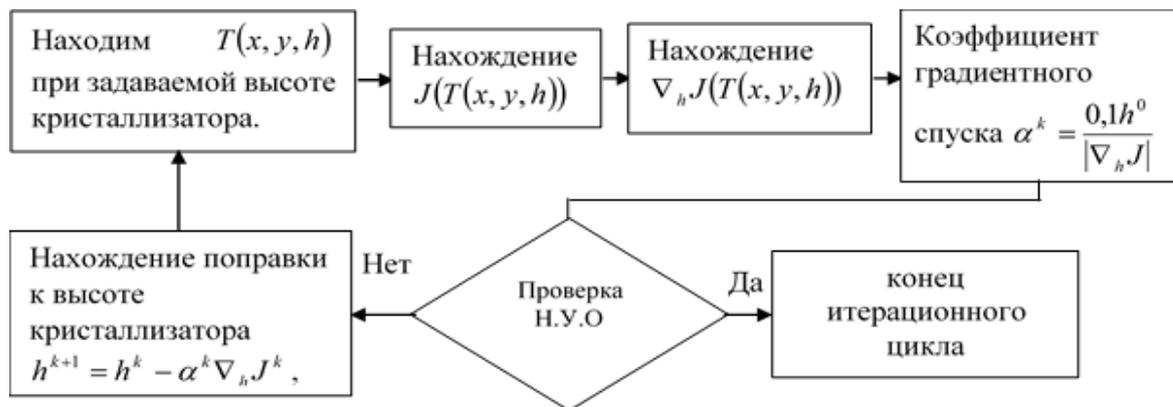


Рис. Алгоритм расчета оптимальной высоты кристаллизатора

Решение поставленной задачи будет выполняться методом конечных разностей с использованием программной оболочки, работающей под управлением операционной системы Windows.

### **Заключение.**

- Сформулирована задача определения рационального геометрического параметра МНЛЗ – высоты кристаллизатора с целью уменьшения градиентов температур в твердой корочке слитка с учетом ограничения на увеличения объема жидкой лунки.
- Решение поставленной задачи может быть использовано для конструкторско-технологического проектирования МНЛЗ с целью повышения качества алюминиевых слитков.

### **Список литературы**

1. Огурцов А. П. Прямая оптимизация теплофизических процессов / А. П. Огурцов, Ф. В. Недопекин, В. К. Толстых, Н. А. Володин. – Донецк: Юго-Восток, 1997. – 150 с.
2. Соболев В. В. Теплофизика затвердевания металла при непрерывном литье / В. В. Соболев, П. М. Трефилов. – М.: Metallurgy, 1988. – 160 с.
3. Соколов А. А. Исследование влияния теплообмена на границе раздела фаз на кинетику кристаллизации слитка / А. А. Соколов, А. И. Тарасенко. – Непрерывная разливка стали. – Сб. № 4. М.: Metallurgy, 1977. – С. 21-23.
4. Недопекин Ф. В. Математическое моделирование гидродинамических и теплофизических процессов при формировании непрерывного алюминиевого слитка / Ф. В. Недопекин, В. В. Белоусов, Е. В. Гамалий // Вестник Донецкого университета, Сер. А: Природничі науки. – 1997. – №1. – С. 123-128.

УДК 669.162

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕРА КАПЛИ ВОДЫ ПРИ ПОДАВЛЕНИИ ВЫБРОСОВ АЗОТНО-ВОДНЫМ АЭРОЗОЛЕМ**

*Бодряга В.В., Недопекин Ф.В.*, д-р техн. наук, проф.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*vvbod@yandex.ru*

**Введение.** Metallургическое производство является одним из самых крупных загрязнителей атмосферы. Значительное количество пыли выделяется при переливах чугуна. Каждая порция жидкого чугуна на пути от домны к сталеплавильному агрегату переливается 3–4 раза. Выделяющаяся пыль загрязняет окружающую среду [1, 2].

Бурый дым образуется при взаимодействии мелких брызг чугуна с кислородом газовой фазы. Основным источником поступления кислорода в зону образования брызг металла, является эжекция воздуха струей чугуна. Наиболее перспективным технологическим методом является предотвращение образования бурого дыма путем замещения кислорода азотом.

В metallургических предприятиях нейтральный газ получают в установках путем разделения воздуха. Объемный расход азота, который могут обеспечить кислородные цеха для установки пылеподавления азотом

(УПА), оказывается недостаточным. Вследствие этого, возникает необходимость в разработке технологических приёмов снижения расхода азота в УПА.

**Процессы теплопереноса в капле воды при подавлении бурого дыма азотно-водным аэрозолем.** Эффективность подавления бурого дыма повысится, если в газообразный азот добавлять небольшое количество воды. Это позволит достичь более высокой степени пылеподавления при меньших расходах азота.

Рассмотрим каплю воды в струе нейтрального газа. Начальная температура капли  $T_0 = 293 \text{ K}$ . Она в полете к струе чугуна нагревается и испаряется. Предположим, что процесс испарения капли воды происходит сразу при достижении температуры кипения. Необходимо найти рациональный диаметр капли, чтобы за время полета к струе чугуна она испарялась.

Для решения поставленной задачи воспользуемся уравнением теплового баланса. Отсюда уравнение примет вид:

$$\alpha_g (T_{cp} - T_k) \frac{m_k c_g}{F_k} = \frac{dT_k}{d\tau} \quad (1)$$

где  $c_g$  - теплоемкость воды;  $F_k$  - площадь поверхности капли;  $m_k$  - масса капли;  $\tau$  - время разогрева;  $\alpha_g$  - коэффициент теплообмена воды.

Разделим переменные и проинтегрируем (1) по  $T$  от  $293 \text{ K}$  до  $373 \text{ K}$  и по времени от  $0$  до  $\tau_{исп}$ . Для определения коэффициента теплоотдачи капли  $\alpha_g$  выразим его через тепловое число Нуссельта  $Nu = \alpha_g d / \lambda$ , где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха;  $d$  – диаметр капли воды. Для расчета  $Nu$  воспользуемся эмпирической формулой для случая обтекания сферических частиц турбулентным потоком [3]:

$$Nu = 2 + 0,03 \cdot Pr^{0,33} \cdot Re^{0,54} + 0,35 \cdot Pr^{0,35} \cdot Re^{0,58} \quad (2)$$

где  $Pr = \nu / a$  – число Прандтля;  $a$  – коэффициент температуропроводности;  $Re = V_0 d / \nu$  – число Рейнольдса;  $V_0$  – скорость струи азотно-водного аэрозоля.

Полученная система уравнений позволяет связать время, за которое капля воды испарится и ее диаметр. С другой стороны, значение  $\tau_{исп}$  должно совпадать со временем движения капли в струе нейтрального газа от сопла до струи металла:

$$\tau_{дег} = S V_0, \quad (3)$$

где  $V_0$  – скорость истечения азотно-водного аэрозоля из сопла;  $S$  – расстояние от сопла до струи металла.

Подставляя значения геометрических и теплофизических параметров, получаем возможность определить рациональный диаметр распылённых капель воды при добавлении воды в струю азота. Получим

время движения капли воды в струе нейтрального газа из расстояния от сопла до струи металла. И окончательно получим рациональный диаметр капли воды 150 мкм.

### **Заключение.**

1. Поставлена задача определения рационального диаметра капли воды в азотно-водном аэрозоле при переливах чугуна.
2. Внедрение технологии подавления азотно-водным аэрозолем позволит снизить расход нейтрального газа в условиях недостаточного производства азота блоками разделения воздуха.

### **Список литературы**

1. Экспериментальное исследование параметров выбросов при сливе чугуна из миксера в ковш на МК Азовсталь / В. В. Бодряга [и др.] // КРИС-2019. – Ижевск: «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», 2019. – С. 114-117.
2. Подавление бурого дыма при переливах чугуна из емкости в емкость / В. В. Бодряга [и др.] // Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности / ред. А. Б. Ступин. – Донецк: ДонНУ, 2010. – Гл. 4. – С. 106-139.
3. Недопёкин Ф. В. Тепломассоперенос: Учебное пособие. – Донецк: ДонНУ, 2007. – 174 с.

УДК 621.926.9

## **ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

***Соколов К.И., Подрухин А.А., Чуяшенко С.В.***

ГУ «Институт физики горных процессов», г. Донецк, ДНР

*ifgpdnr@mail.ru*

**Введение.** При измельчении абразивных материалов число последовательных стадий процесса достигает десяти, а износ металла на 1 т перерабатываемого материала достигает 20-25 кг, кроме того, удельный расход электроэнергии очень высокий [1]. Чтобы исключить засорения измельчаемого материала, уменьшить металлоемкость и энергозатраты, был разработан метод измельчения [2], основанный на разрушении зерен измельчаемого материала путем приложения высокого гидростатического давления без наличия мелющих тел.

**Основная часть.** По методу гидростатического измельчения [1-4] давлению подвергают порошковый материал, который, очевидно, является структурно-неоднородным, и получают условие измельчения, т.е. условие разрушения структурных элементов (в данном случае порошинок) при гидростатическом обжатии порошков. Очевидно, в ходе процесса измельчения под действием гидростатического давления порошок будет уплотняться. Это означает, что напряженное состояние образца в целом

должно удовлетворять условию пластичности порошкового материала. В случае гидростатического обжатия [4] условие имеет вид:

$$P = \sqrt{\psi(\theta) \cdot (1 - \theta)} \cdot (K + \alpha P) \quad (1)$$

где:  $P$  – величина гидростатического давления, Па;

$K$  – коэффициент сдвигового сцепления;

$\alpha$  – коэффициент внутреннего трения; (эти коэффициенты определяются по методике, изложенной в работе [3])

$\theta$  – пористость;

$\psi(\theta)$  – некоторая функция пористости, которую, согласно [4], можно принять в виде:

$$\psi(\theta) = \frac{2}{3} \cdot \frac{(1-\theta)^3}{\theta} \quad (2)$$

Согласно [5] при выполнении условия (1) величина  $\bar{\tau} = K + \alpha P$  равна среднеквадратичному значению интенсивности девиатора напряжения в каркасе порошкового материала. Предположим, что предельное состояние (текучесть или разрушение) отдельной порошинки наступает при выполнении условия Губера – Мизеса, записанного в виде:

$$\tau = \tau^* \quad (3)$$

где:  $\tau$  – интенсивность девиатора напряжений;

$\tau^*$  – предельные значения  $\tau$ : для состояния текучести  $\tau = \tau_T^*$ , для разрушения  $\tau = \tau_p^*$ .

Таким образом, условие начала процесса измельчения материала имеет вид следующей системы:

$$\begin{cases} \mu(K + \alpha P) = \tau_p^* \\ \tau_T^* > \tau_p^* \end{cases} \quad (4)$$

Исследования [5] показывают, что величина предела прочности частицы зависит от ее размера. Связано это с тем, что вероятность наличия дефектов, приводящих к разрушению, выше в частицах большего размера. Количественно масштабный эффект может быть описан степенной зависимостью, следующей з распределения Вейбула [6]:

$$\tau_p^* = \tau_{p0}^* \left(\frac{d_0}{d}\right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (5)$$

где:  $d$  – размер частицы;

$\tau_{p0}^*$  – значение  $\tau_p^*$  для частиц с размером  $d_0$ ;

$\beta$  – параметр формулы Вейбулла.

Для предела текучести также характерен масштабный эффект [6]. Однако, так как пластическая деформация (по сравнению с хрупким разрушением) обусловлена дефектами более низкого масштабного уровня, то в первом приближении можно принять  $\tau$  не зависящим от  $d$ . Подставляя (5) в (4) получаем условие начала процесса измельчения в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{P}{K} = \frac{1}{\alpha} \cdot \left( \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\tau_{p0}^*}{K} \cdot \left( \frac{d_0}{d_m} \right)^{\frac{1}{\beta}} - 1 \right) \\ \frac{\tau_T^*}{\tau_{p0}^*} > \left( \frac{d_0}{d_m} \right)^{\frac{1}{\beta}} \end{cases} \quad (6)$$

где:  $d_m$  – максимальный размер частиц исходного порошка.

Из соотношения (1) легко получить:

$$P = \frac{K_1 \sqrt{\psi(\theta) \cdot (1-\theta)}}{1 - \alpha_1 \sqrt{\psi(\theta) \cdot (1-\theta)}} \quad (7)$$

где:  $K_I$  и  $\alpha_I$  – значения коэффициентов сдвигового сцепления и внутреннего трения на стадии измельчения порошка.

Условие измельчения порошка имеет вид следующей системы:

$$\begin{cases} \frac{P}{K_1} = \frac{1}{\alpha_1} \left( \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\tau_{p0}^*}{K_1} \cdot \left( \frac{d_0}{d} \right)^{\frac{1}{\beta}} - 1 \right) \\ \frac{\tau_T^*}{\tau_{p0}^*} > \left( \frac{d_0}{d} \right)^{\frac{1}{\beta}} \end{cases} \quad (8)$$

В работе [7] показано, что в этом случае при некоторых предположениях процесс дробления развивается автомодельно, причем устанавливается логнормальное распределение [8] частиц по размерам, описываемое следующей функцией распределения:

$$\Phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (9)$$

где:  $y = \frac{\ln \frac{d}{d_{\delta 0}}}{\sigma}$

$d_{\delta 0}$  – так называемая медиана распределения (размер частицы при котором  $\Phi = \frac{1}{2}$ );

$\sigma$  – среднеквадратичное отклонение  $\ln d$  от  $\ln d_{\delta 0}$ .

Таким образом, при  $d < d_0 \left( \frac{\tau_{p0}^*}{\tau_T^*} \right)^\beta$  пластичность начнет существенно влиять на характер разрушения частиц. Экспериментальное подтверждение этого вывода можно найти в работе [5]. На начальной стадии процесса измельчения гранулометрический состав порошка во многом определяется исходным размером частиц. На заключительной стадии происходит сужение функции распределения частиц по размерам в районе  $d_{min}$  [5].

**Заключение.** Из работы [9] следует, что охрупчивающие воздействия, снижающие  $\tau_{p0}^*$ , уменьшают  $d_{min}$ . В качестве такого воздействия может служить, например, снижение температуры обработки материалов, использование поверхностно-активных веществ и других методов, применяемых при циклическом гидростатическом измельчении материала.

## Список литературы

1. Ревнивцев В. И. Селективное разрушение минералов / В. И. Ревнивцев. – М.: Недра, 1988. – 266 с.
2. Соколов В. К. Установка для тонкого циклического гидростатического измельчения материалов / В. К. Соколов и др. Материалы XXVI Научной школы им. акад. С. А. Христиановича. – Алушта: 2016. – С. 179-182.
3. Штерн М. Б. Феноменологические теории прессования порошков / М. Б. Штерн. – Киев: Наукова думка, 1982. – 140 с.
4. Федорченко И. М. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения / И. М. Федорченко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 485 с.
5. Уэствурд А., Пиккенс Дж. Применение разрушения / Под ред. Р. В. Гольдштейна. – М.: Мир, 1987. – С. 7-34.
6. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого тела / Ю. Н. Работнов. – М.: Наука, 1979. – 744 с.
7. Родионов В. Н. Основы геомеханики / В. Н. Родионов, А. И. Сизов, В. М. Цветков. – М.: Недра, 1985. – 301 с.
8. Колмогоров А. Н. О логарифмически нормальном законе распределения частиц при дроблении / А. Н. Колмогоров. – ДАН СССР, 1941. – Т. 31, №2 – С. 103-106.
9. Ходаков Г. С. Физика измельчения / Г. С. Ходаков. – М.: Недра, 1972. – 307 с.

УДК 532.517.2: 518.12

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДЕ С ПЕРИОДИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ (ТПИПС)**

**Финошин Н.В.**, канд. физ.-мат. наук, доц., **Попова А.Е.**, **Рыжков Е.Е.**  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*a.popova@donnu.ru*

Интерес к исследованию процессов, происходящих около волнистых поверхностей, обусловлен широким кругом практических задач. Технические устройства с гофрированными сложными поверхностями широко используются в химической и вибрационной технологиях, тепло- и массообменниках; их влияние необходимо учитывать и в расчетах сварных трубопроводов, аэродинамике поверхностей летательных аппаратов. Модели течений в искусственных артериях и легких (гофрированная мембрана) представляют интерес для физиологии и медицины. К этой проблеме следует отнести также интенсивно ведущиеся исследования в биомедицине по изучению течения биологических жидкостей в сосудах с сужениями типа стенозов.

Теоретические исследования процессов, происходящих около волнистых поверхностей, затрудняются необходимостью корректного учета геометрически сложных границ и неспособностью абсолютного

большинства моделей турбулентности адекватно отражать особенности таких течений. Одним из открытых вопросов при исследовании вязких течений с чередованием расширений и сужений остается вопрос о влиянии геометрии трубы на перепад давления.

В данной работе проведены экспериментальные исследования полных гидродинамических сопротивлений в трубопроводе из 4-х секций, каждая из которых состоит из четырех конфузурно-диффузорных участков. Длина диффузорного участка  $l_o = 213 \text{ мм}$ , длина конфузурного участка  $l_k = 71 \text{ мм}$ .

Экспериментальные исследования проводились на аэродинамическом стенде, схема которого приведена на рис. 1.

На рис. 1 в качестве средств измерения использовались: микроманометр ММН-240 (М1) для измерения перепада давления на конфузуре 4, микроманометр ММН-240 (М2) для измерения перепада давления на участке,  $\Delta P_{m_1 m_4}$ , U-образный манометр для измерения перепада давлений на диафрагме  $\Delta H$  (мм.вод.ст), измерения статического давления перед диафрагмой  $\Delta H_{\text{стат}}$  (мм.вод.ст).

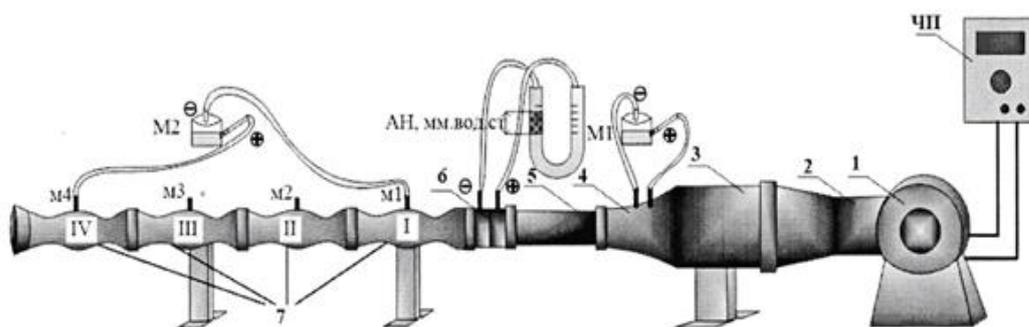


Рис. 1. Схема аэродинамического стенда

1 – высоконапорный вентилятор ВВД-5; 2 – переходной диффузор; 3 – форкамера с хонейкомбом и сетками; 4 – конфузор; 5 – участок круглой цилиндрической трубы; 6 – диафрагма; 7 – трубопровод переменного сечения

Регулировка режима работы вентилятора проводилась с помощью частотного преобразователя (ЧП) от 0 до 50 Гц.

Измерения проводились следующим образом:

1. С помощью частотного преобразователя задавалась частота с шагом  $\Delta f = 5 \text{ Гц}$ .

2. На каждом режиме работы вентилятора с помощью микроманометра М1 измерялся перепад давления на конфузуре.

3. С помощью микроманометра М2 измерялся перепад давления на каждом из участков ТПИПС.

4. С помощью U-образного манометра проводились измерения перепада давления на диафрагме  $\Delta H$  (мм.вод.ст), и статического давления на входе в диафрагму  $\Delta H_{\text{стат}}$  (мм.вод.ст).

Для измерения полного гидродинамического сопротивления ТПИПС необходимо измерить перепад давления на измеряемом участке и расход воздуха.

Перепад давления измеряют с помощью микроманометра ММН-2400, класса точности 1. Для измерения расхода воздуха использовалась стандартная диафрагма.

Использовались рекомендации ГОСТ 8.586.1-2005; ГОСТ 8.586.2-2005; ГОСТ 8.586.5-2005.

Для расчета расхода воздуха использовалось уравнение расхода по следующей формуле согласно ГОСТ 8.586.5-2005:

$$Q = 0,25\pi d_{20}^2 K_{cy}^2 C E K_u K_n e \left( \frac{2\Delta p}{\rho} \right)^{0.5},$$

где  $p$  – давление среды, Па;  $E$  – коэффициент скорости входа;  $C$  – коэффициент истечения;  $d_{20}$  – диаметр отверстия СУ при температуре 20 °С, м;  $K_u$  – поправочный коэффициент на шероховатость внутренней поверхности измерительного трубопровода;  $K_n$  – поправочный коэффициент на притупление входной кромки отверстия диафрагмы;  $K_{cy}$  – поправочный коэффициент на изменение диаметра СУ, вызванное отклонением среды от 20°С;  $e$  – коэффициент расширения;  $\rho$  – плотность воздуха при стандартных условиях, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p$  – перепад давления на диафрагме, Па.

Для используемой на стенде стандартной диафрагмы были рассчитаны значения  $d_{20}$ ,  $K_{cy}$ ,  $C$ ,  $E$ ,  $K_u$ ,  $K_n$ ,  $\rho$ .

Экспериментально для различных режимов течения проводились измерения перепада давления на диафрагме  $\Delta p$  и статическое давление перед диафрагмой  $p_{ст}$  с помощью U-образного манометра.

Для расчета расхода воздуха была написана и протестирована программа на языке программирования Python.

На рис. 2 приведены результаты изменения коэффициентов полного гидродинамического сопротивления трубопровода переменного сечения на длине  $l = 3,408$  м, а также график теоретической зависимости по Никурадзе для прямой круглой цилиндрической трубы.

Из графиков видно, что в ТПИПС наблюдается снижение полного сопротивления по отношению к круглой цилиндрической трубе в среднем на 25 %.

Достоверность значений коэффициентов сопротивления ТПИПС обеспечена за счет использования методики обработки данных на стандартной диафрагме согласно ГОСТ 8.586.5-2005 по измерению расхода воздуха на аэродинамическом стенде. Полученные результаты требуют более тщательных исследований для окончательной оценки полученных результатов в данной работе.

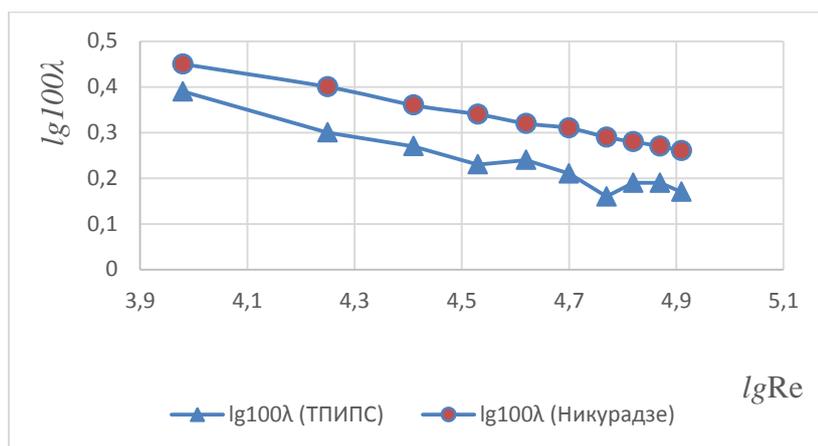


Рис. 2. Графики зависимости коэффициентов полного гидродинамического сопротивления: экспериментальный (ТПИПС) и теоретический (Никурадзе)

**Выводы.** 1. Для повышения точности результатов расхода воздуха на аэродинамическом стенде с помощью стандартной диафрагмы была использована методика согласно ГОСТ 8.586.5-2005.

2. С помощью пакета Python написана программа в виде консоли для расчета расхода воздуха по заданному перепаду давления на диафрагме и статическому давлению перед диафрагмой.

3. Предварительные экспериментальные исследования показали эффект снижения полного сопротивления в трубопроводе переменного сечения с заданной формой образующей по отношению к круглой цилиндрической трубе эквивалентного диаметра.

4. Необходимы более тщательные исследования для подтверждения полученного в данной работе эффекта.

### Список литературы

1. Повх И. Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении / И. Л. Повх. – Л.: Машиностроение, 1974. – 480 с.
2. Горин С. М. Аэромеханические измерения (методы и приборы) / С. М. Горин, Н. И. Слезингер. – М.: Наука, 1964. – 720 с.
3. ГОСТ 8.010-2011 ГСОЕИ. Методики выполнения измерений. Основные положения. — Введен впервые; Введ. 01.03.2015. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
4. ГОСТ 8.586.1-2005 (ИСО 5167-1: 2003) ГСОЕИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования. Введ. 01.01.2007. – М.: Стандартинформ, 2007. – 42 с.
5. ГОСТ 8.586.2-2005 (ИСО 5167-1: 2003) ГСОЕИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования. Введ. 01.01.2007. – М.: Стандартинформ, 2007. – 37 с.
6. ГОСТ 8.586.5-2005 (ИСО 5167-1: 2003) ГСОЕИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5. Методика выполнения измерений. Введ. 01.01.2007. – М.: Стандартинформ, 2007. – 87 с.

# ***Стандартизация и метрология***

УДК 006.1.034(477.62) “2014/...”

## **К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ**

***Полякова А.В.***, канд. техн. наук, доц.

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
им. Михаила Туган-Барановского» г. Донецк, ДНР  
*all-polyakova@yandex.ru*

**Введение.** На сегодняшний день основными задачами Донецкой Народной Республики является осуществление множественных процессов, направленных на становление государственности, создание фундамента в виде законодательной базы, необходимой для построения государственной системы управления и регулирования всех видов деятельности.

Важной для ДНР и до настоящего времени не решенной является проблема отсутствия государственной системы стандартизации в Республике, которая бы позволила выполнить все необходимые преобразования в области стандартизации именно в не простой переходный период для государства, когда происходит постепенная замена стандартов Украины на стандарты Российской Федерации.

Стандартизация является основным фактором поддержки социально-экономической политики государства, способствует развитию добросовестной конкуренции, инновационных технологий, устранению технических барьеров в торговле, повышению уровня безопасности жизни, здоровья и имущества граждан, обеспечивает охрану интересов потребителей, окружающей среды и экономию всех видов ресурсов, повышению качества и безопасности товаров, работ и услуг.

Отсутствие государственной системы стандартизации в Республике отрицательно сказывается на развитии экономических отношений между хозяйствующими субъектами в ДНР, производителями и потребителями, на темпы развития предпринимательской сферы, а также на формировании сбалансированных межгосударственных взаимоотношений.

Целью данной работы является установление основных направлений видов деятельности, необходимых для формирования государственной системы стандартизации в ДНР и ее дальнейшего становления и успешного функционирования.

**Основная часть.** В основу функционирования государственной системы стандартизации в Донецкой Народной Республике должен быть положен закон ДНР «О стандартизации», основной документ, устанавли-

вающий правовые основы в данной области, регулирующий отношения, связанные с деятельностью в сфере стандартизации и применения ее результатов. Положения закона должны распространяться на субъекты хозяйствования независимо от формы собственности и видов деятельности, органы государственной власти, а также на соответствующие общественные организации. Кроме того, требует разработки и дальнейшего утверждения серия основополагающих стандартов «Государственная система стандартизации ДНР», где следует изложить методологические основы организации и функционирования системы, а также требования непосредственно к деятельности по созданию государственных стандартов и иной нормативной документации в ДНР. Эти и многие другие правовые документы по вопросам стандартизации на сегодняшний день отсутствуют в Республике. Это существенно влияет на процесс становления государственной системы стандартизации в ДНР и на разработку нормативных документов в целом, а также их гармонизацию с международными стандартами, что вызывает некоторые затруднения в работе предприятий Республики и создает препятствия в международной торговле.

С определенными трудностями в данной ситуации сталкиваются предприятия сферы услуг, а именно гостинично-ресторанного хозяйства. На сегодняшний день отсутствуют нормативные документы, которые позволили бы упорядочить работу гостиничных предприятий по оказанию услуг определенного ассортимента и уровня качества. Отсутствие стандартов ДНР по классификации средств размещения и гостиниц в частности влечет за собой использование гостиничными предприятиями, функционирующими на территории Республики, устаревших стандартов Украины, которые были утверждены еще в 2002-2005гг и в настоящее время не могут удовлетворять современные требования потребителей в данной области.

В ходе формирования государственной системы стандартизации следует установить основные направления развития стандартизации в Донецкой Народной Республике при активном участии органов исполнительной власти, государственных корпораций и общественных организаций в работах по стандартизации. Торможение этих процессов пагубно сказывается на развитии отраслей, на качестве производимой продукции и оказываемых услугах предприятиями, остро нуждающихся в четком урегулировании взаимоотношений с потребителями и бизнес партнерами. Устаревшая нормативная документация не может обеспечить в полной мере внедрение новых технологий и вывести предприятия на современный уровень научно-технического прогресса, а также не позволяет достичь полного удовлетворения потребностей потребителя, что отображается на конкурентоспособности хозяйствующих объектов.

Существующие несоответствия законодательства и систем стандартизации ДНР и РФ являются сдерживающим фактором, что влечет за собой неразрешимость проблемы перехода производств на российские стандарты и их внедрения на предприятиях республики.

Таким образом, сформировавшиеся трудности в области стандартизации в переходный период, возможно, преодолеть с помощью достижения следующих позиций:

- создание законодательных основ государственной системы стандартизации;
- усиление роли государственной стандартизации в решении государственных задач и роли государства в развитии стандартизации;
- развитие организационно-функциональной структуры государственной системы стандартизации;
- укрепление экономических основ стандартизации;
- расширение и обновление фонда документов государственной системы стандартизации, информационного обеспечения в области стандартизации;
- совершенствование взаимодействия с международными и региональными организациями по стандартизации;
- проведение работ по подготовке, переподготовке и повышению квалификации кадров по стандартизации [1].

**Заключение.** Формирование государственной системы стандартизации в Донецкой Народной Республике и разработка стратегии ее становления является приоритетным направлением деятельности государственной власти, важным шагом урегулирования экономической ситуации и действенным фактором обеспечения дальнейшего развития Республики.

#### **Список литературы**

1. Стратегия формирования государственной системы стандартизации. ГУП ДНР «Донецкий научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <[www.doncsm.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=284&Itemid=247](http://www.doncsm.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=284&Itemid=247)>. (Дата обращения: 16.09.2021).

## КОМБИНИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕТРОЛОГИИ

*Пометун Е.Д., Лебедев В.Н.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*Alternativa19031992@rambler.ru*

**Введение.** Для более глубокого усвоения учебного материала студентами Донецкого национального университета по дисциплинам «Методы и средства измерения и контроля» и «Метрология» необходимо выполнение цикла лабораторных работ. Можно выделить следующие основные направления: обучение правильным приемам выполнения измерений, обработка результатов прямых, косвенных, совокупных и совместных измерений и др. В процессе выполнения лабораторных работ, учащиеся должны самостоятельно получать экспериментальные данные и выполнять их обработку в соответствии с общепринятыми методиками.

**Основная часть.** Для выполнения лабораторных работ по изучению прямых, косвенных, совместных и совокупных методов измерений на кафедре ФНПМЭ им. И. Л. Повха был разработан и изготовлен специальный комбинированный стенд, представленный на рис. 1.



Рис. 1. Лабораторный стенд

Определяющими при разработке стенда являлись следующие критерии: наглядность изучаемого процесса, безопасность студентов и преподавателей, надежность, долговечность и приемлемая стоимость оборудования [1].

Конструктивно, лабораторный стенд состоит из набора клемм, двух мультиметров и кассеты с соединительными проводами и наборами различных радиокомпонентов. При выполнении работ, требующих внешнего источника электропитания, используется лабораторный источник питания типа БП5 – 8 или его аналоги.

Перед началом измерений, с помощью перемычек и электронных компонентов, расположенных в кассете (рис. 1), собирается электронная схема и включаются электронные приборы.

Схема внутренних соединений клемм представлена на рис. 2.

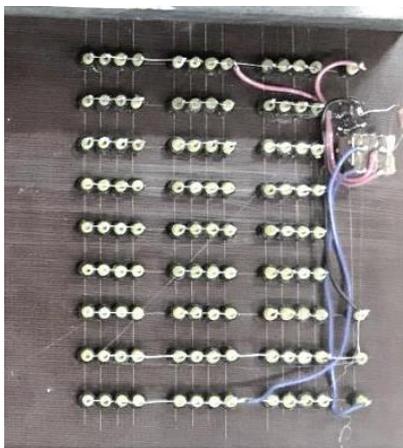


Рис. 2. Схема соединений стенда

Стенд позволяет выполнять следующие лабораторные работы:

- определение класса точности резисторов методом прямых измерений сопротивления;
- проверка гипотезы о нормальном распределении результатов измерений по критерию Пирсона;
- исключение грубых погрешностей и промахов из результатов наблюдения;
- обработка прямых многократных неравноточных измерений;
- обработка косвенных измерений величины сопротивления;
- обработка результатов совокупных измерений;
- обработка результатов совместных измерений и т.д.

Студенты допускаются к выполнению лабораторной работы при условии: знания теоретических основ, порядка и правил выполнения лабораторной работы. В процессе работы необходимо строго соблюдать общие для лабораторий правила техники безопасности. Работа на стенде производится только с разрешения и под наблюдением преподавателя.

**Заключение.** Успешный опыт эксплуатации позволяет рекомендовать данный стенд для использования в учебном процессе в высших учебных заведениях.

#### Список литературы

1. ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: официальный сайт. – 2009. – URL: <https://rosmintrud.ru/docs/1281> (дата обращения: 05.10.2021).

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

*Романчук С.М.<sup>1</sup>*, канд. техн. наук, *Силенко Е.М.<sup>1</sup>*, канд. техн. наук,  
*Силенко С.Е.<sup>1</sup>*, *Казакова В.Е.<sup>2</sup>*, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР,

<sup>2</sup>ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет»,

г. Орехово-Зуево, РФ

*s.romanchuk@donnu.ru*

**Введение.** Электромагнитные измерители погружного типа определяют скорость потока в локальной точке и используются как для непосредственного измерения скорости потока, профиля скорости, так и для определения объемного расхода методом «площадь скорость» в реальных промышленных трубопроводах среднего и большого диаметров, безнапорных каналах систем городского водоснабжения, канализации и на узлах учета хозяйственно-бытовых стоков очистных сооружений. Для решения этих задач конструктивно предусмотрена возможность установки измерительного преобразователя (ИП) на трубопровод без переустройства трубопровода и нарушения режима подачи воды.

Незаменимы такие ИП и при исследовании течений, орбитальных волновых скоростей при гидрологических измерениях режимов рек, естественных водоемов, прибрежных зон морей, нахождения эпюр скоростей в открытых русловых потоках, а также при измерении компонент скорости движущихся морских и речных объектов. Реализация таких измерителей в виде универсальных компактных автономных комплексов и устройств с дистанционной передачей результатов измерений позволяет расширить круг решаемых научных и практических задач [1, 2].

**Основная часть.** Проблемы в процессе долговременной эксплуатации электромагнитного ИП связаны, прежде всего, с его электроизоляционной надежностью в условиях повышенных давлений, имеющих место в существующих трубопроводах. В этой связи, в производимых исследованиях и конструкторских разработках рассматривались вопросы выбора изоляционного материала (ИМ) и его влияние на эксплуатационные характеристики ИП.

В качестве электроизоляционного корпуса ИП в начальных разработках использовались керамические и кварцевые трубки. Обладая рядом преимуществ [3], керамические материалы, тем не менее, из-за своей хрупкости требуют к себе особого деликатного отношения. Трудности на этом пути были связаны, прежде всего, с невозможностью получения сертифицированных керамических заготовок, сложностью их механичес-

кой обработки. Электроизоляционный корпус из кварцевого стекла был также отвергнут из-за его хрупкости и обнаруженной остаточной проводимости по поверхности стекла. Вышеперечисленные недостатки отсутствуют в электроизоляционном корпусе, выполненном из высокотехнологического пластика полиэфирэфиркетона. Однако, в этом материале не удалось осуществить надежную герметичность вплаваемых измерительных электродов. Таким образом, реальные условия эксплуатации существенно ограничивают пространство конструкторско-технологических решений.

Результаты научно-технического сотрудничества с Донецким государственным НИИ пластмасс, а в настоящее время с ООО «Композит-Дон», позволили применить для электроизоляционного покрытия электромагнитного ИП скорости потока современные композитные материалы. Технология изготовления ИП предусматривает заливку жидким ИМ в вакууме. Обязательным требованием к ИМ является обеспечение максимальной адгезии контактирующих с ним элементов конструкции ИП. Перечень требований к исходному ИП и качеству обработки сопрягаемых поверхностей достаточно полно изложены в статье [4].

В настоящее время, совместно с ООО «Композит-Дон» ведутся экспериментальные исследования по оптимизации как состава композитного материала, так и последовательности операций технологического процесса заливки опытных образцов электромагнитных первичных измерительных преобразователей скорости. На данном этапе установлено, что необходимым эксплуатационным требованиям, предъявляемым к надежности ИП, удовлетворяет композитный материал изготовленный в соответствии с техническими условиями на основе компаунда УП-592. Полученные результаты коррелируют с рекомендациями и выводами независимых исследований [4, 5].

**Заключение.** Результаты исследований используются как в процессе проектирования конструкций новых опытных образцов электромагнитных преобразователей скорости потоков жидкости, так и в программно-аппаратных комплексах, эксплуатируемых в системах городского водоснабжения предприятий «Донецкводоканал» и «Вода Донбасса».

### Список литературы

1. Электромагнитные измерительные преобразователи скорости потоков жидкости – итоги исследований и разработок / С. М. Романчук, Е. М. Силенко, С. Е. Силенко, В. Е. Казакова // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 9–20.
2. Цифровой электромагнитный измеритель расхода жидкости / В. Е. Силенко [и др.] // Современные проблемы физико-математического образования: Сборник материалов VI Международной заочной научно-практической конференции. Орехово-Зуево, 12 декабря 2016 г. – С. 61–64.
3. Коптев В. С. Керамика в электромагнитной расходомерии / В. С. Коптев, А. В. Прохоров, Е. Н. Демин // <http://www.teplovizor.ru/myarticles/article.php?storyid=10>

4. Воронов А. С. Выбор композиционного материала в датчике индукционного лага / А. С. Воронов, М. И. Евстифеев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2020. – Т. 20, №4. – С. 589-594. – DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-4-589-594
5. Оптимизация конструктивных параметров глубоководного индукционного датчика скорости / Ю. Л. Аванесов, А. Н. Буканова, А. С. Воронов, М. И. Евстифеев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, №1. – С. 140-146. – DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-140-146

УДК 621.386.1.001.42:725.5

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТОКОЛА КОНТРОЛЯ ЭСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

*Славко А.А.<sup>1,2</sup>, Асланов П.В.<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
Бондаревский-Колотий В.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР,

<sup>2</sup>Донецкое клиническое территориальное медицинское объединение, г. Донецк, ДНР  
*orbdoktmo@gmail.com*

**Введение.** Качество проводимых рентгенологических процедур напрямую зависит от правильного функционирования рентгенодиагностической аппаратуры, а для минимизации доз пациентов, исключения риска необоснованного облучения и повышения качества исследований необходимо проводить периодический контроль эксплуатационных параметров рентгеновского оборудования.

В ранее проведенных исследованиях была обоснована необходимость разработки протоколов контроля эксплуатационных параметров для различных типов рентгеновского оборудования с использованием стандартов Российской Федерации, и показано, что наибольший удельный вес среди аппаратов для лучевой диагностики занимают диагностические аппараты – 39,7 %.

**Цель исследования** состояла в совершенствовании протокола для контроля эксплуатационных параметров диагностических (рентгенография, рентгеноскопия) аппаратов.

**Основная часть.** В основу исследования был положен анализ протокола контроля эксплуатационных параметров (КЭП) выданный ГУП ДНР «Донескстандартметрология» для диагностического аппарата и существующей нормативно-правовой документации Российской Федерации, на основании которой проводятся КЭП диагностических аппаратов.

Полный перечень контролируемых эксплуатационных параметров приводится в Приложении №10 СанПин 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов,

аппаратов и проведению рентгенологических процедур» [1]. На основании этого перечня были определены действующие ГОСТы [3-7,8,9] и методические рекомендации [8] в которых описаны соответствующие методики выполнения измерений, необходимые измерительные приборы, специальные приспособления и тест-фантомы.

Для проведения КЭП определены следующие средства измерения: универсальный дозиметр для контроля характеристик рентгеновских аппаратов типа Unfors, рулетка, дозиметр рентгеновского и гамма-излучения типа ДКС АТ-1123, термометр, гигрометр. И испытательное оборудование: тест-фантомы для контроля совпадения светового и рентгеновского полей, контроля пространственного разрешения, контроля геометрических искажений, перпендикулярности рентгеновского пучка, контрастной чувствительности, в т.ч. тест-фантомы для определения глубины (высоты) выделяемого среза и угла томографии и траекторных характеристик, комплект эталонных пластин с определенным свинцовым эквивалентом для определения работы экспонометра.

Для КЭП диагностического аппарата необходимо проверить 23 параметра: питающего устройства и рентгеновского излучателя, параметров штативно-механических устройств и преобразователя изображения, которые представлены в таблице.

Таблица

№ п/п	Контролируемый параметр	Нормативный документ	Нормируемое значение
1	2	3	4
1	Форма кривой анодного напряжения и величина пульсаций	Руководство по эксплуатации аппарата	соответствие/ несоответствие
2	Суммарная фильтрация пучка излучения	[3] п.5.3, [6] п. 7.1	не менее 2,5мм Al до 70 кВ
3	Слой половинного ослабления	[6] п. 7.1	не менее 2,5мм Al до 70 кВ
4	Воспроизводимость дозы излучения	[4] п. 203.6.3.2.101, [5] п.50.102.1	не более ±5%
5	Линейность дозы излучения при заданном анодном напряжении	[4] п. 203.6.3.2.102, [5] п.50.102.2	не более ±20%
6	Точность выполнения уставок анодного напряжения	[4] п.203.6.4.3.104.3	не более ±10%
7	Точность выполнения уставок силы анодного тока	[4] п.203.6.4.3.104.4	не более ±20%
8	Точность выполнения уставок длительности экспозиции	[4] п.203.6.4.3.104.5	не более ±10%
9	Значения радиационного выхода на 70кВ	[8] п.5	не нормируется
10	Видимая разрешающая способность, пар лин./мм	[3] п.5	не нормируется
11	Видимый пороговый контраст, %	[3] п.5	не нормируется

## Продолжение таблицы

1	2	3	4
12	Расхождение светового и рентгеновского полей излучения	[3] п. 5.5.2., [4] п.203.8.102.6	не более 2%
13	Радиационная защита излучателя	[6] п.12.4	не более 1,0 мГр/ч
14	Отклонение высоты среза при томографии	[3] п.7	не нормируется
15	Отклонение угла качания при томографии	[3] п.7	не нормируется
16	Функционирование экспонометра	[3] п.5.8.2	не более 20%
17	Номинальный размер входного поля	[9] п.2.1.2, [10] п.5	Класс2-не менее 230мм
18	Дисторсия изображения	[3] п.2.1.4, п.3.6	не более 8%
19	Мощность дозы в плоскости детектора	[9] п.2.5.2	не более 26,3 нГр/с
20	Наличие сигнализации при времени облучения, превышающим 5 мин	[1] Прил.10, [5] п.29.1.104	наличие/ отсутствие
21	Сигнализация включения высокого напряжения (световая, звуковая)	[4] п.203.6.4.101	наличие/ отсутствие
22	Работа механизмов перемещения и блокировок	[4] п.201.9	работоспособны/ не работоспособны
23	Дистанционность управления	[4] п.203.13	не менее 2,0м от фокусного пятна

**Заключение.** Таким образом, показано, что проанализированный протокол КЭП выданный ГУП ДНР «Донесцкстандартметрология» для диагностического аппарата опирающийся на ГОСТ 26140-84 [2] требует усовершенствования, так как не контролирует все необходимые параметры. Учитывая это, необходимость разработки протоколов КЭП для других типов рентгеновского оборудования с использованием стандартов Российской Федерации, определяет направление для дальнейших исследований.

### Список литературы

1. СанПин 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических процедур» [http://gost-rf.ru/view\\_post.php?id=1461](http://gost-rf.ru/view_post.php?id=1461)
2. ГОСТ 26140-84 Аппараты рентгеновские медицинские. Общие технические условия/ Библиотека нормативной документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index/29/29766.htm> (дата обращения 21.09.2021)
3. ГОСТ Р МЭК 61223-3-1-2001 Оценка и контроль эксплуатационных параметров рентгеновской аппаратуры в отделениях (кабинетах) рентгенодиагностики. Часть 3-1. Характеристики изображений рентгеновских аппаратов для рентгенографии и рентгеноскопии. Приемочные испытания/ Библиотека нормативной документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index/6/6884.htm> (дата обращения 21.09.2021)
4. ГОСТ Р 50267.2.54-2013 Изделия медицинские электрические. Часть 2-54. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к рентгеновским аппаратам для рентгенографии рентгеноскопии/ Библиотека

- нормативной документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index/55/55209.htm> (дата обращения 21.09.2021)
5. ГОСТ ИЕС 60601-2-7-2011 Изделия медицинские электрические. Часть 2-7. Частные требования безопасности к рентгеновским питающим устройствам диагностических рентгеновских генераторов/ Библиотека нормативной документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index/52/52717.htm> (дата обращения 21.09.2021)
  6. ГОСТ Р МЭК 60601-1-3-2013 Изделия медицинские электрические. Часть 1-3. Общие требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик. Дополнительный стандарт. Радиационная защита диагностического рентгеновского оборудования. / Библиотека нормативной документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index/56/56236.htm> (дата обращения 21.09.2021)
  7. ГОСТ Р МЭК 61267-2001 Аппараты рентгеновские медицинские диагностические. Условия излучения при определении характеристик/ Библиотека нормативной документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index/6/6498.htm> (дата обращения 21.09.2021)
  8. Определение радиационного выхода рентгеновских излучателей медицинских рентгенодиагностических аппаратов. Методические рекомендации/ Библиотека нормативной документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750685.htm> (дата обращения 21.09.2021)
  9. ГОСТ 26141-84 Усилители рентгеновского изображения медицинских рентгеновских аппаратов. Общие технические требования. Методы испытаний/ Библиотека нормативной документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294828/4294828321.htm> (дата обращения 21.09.2021)
  10. ГОСТ ИЕС 61262-1-2011 Изделия медицинские электрические. Характеристики электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения. Часть 1. Определение размера входного поля/ Библиотека нормативной документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293786/4293786590.htm> (дата обращения 21.09.2021)

УДК 005.6(075.8)

## **АУДИТ ПОСТАВЩИКОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ**

*Стаценко А.С., Шурай П.Е.*, канд. хим. наук, доц.,

*Шурай С.П.*, канд. хим. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,

г. Краснодар, РФ

*schuray1@yandex.ru*

Качество услуг или продукции организации, а соответственно и ее конкурентоспособность в большой степени зависят от качества работы ее поставщиков. Организации принципиально важно иметь надежный инструментарий для оценки способности поставщика поставлять качественную и обязательно безопасную продукцию/услугу на постоянной основе и систематически совершенствовать качество. Достичь этой

стратегически важной цели позволяет аудит поставщиков. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 19011-2021 после подготовки к плановому аудиту поставщиков с учетом критериев аудита и предварительного совещания приступают к сбору и проверке информации в форме устного опроса; рассмотрения документов; наблюдения за процессом; наблюдения за организацией рабочих мест; выборочного сбора данных и их проверки; анализа документов. Свидетельством аудита является информация, которая должна быть проверена на месте.

Согласно плану группа по аудиту выполняет проверку деятельности организации в следующем порядке: собирает необходимую информацию посредством проведения собеседований с персоналом, анализа документов и записей, наблюдения за видами деятельности и условиями на проверяемых участках, используя подготовленные формы регистрации данных; анализирует, оценивает и фиксирует ответы проверяемых, дополнительные вопросы, возникающие по ходу проверки, данные о предполагаемых несоответствиях, наблюдениях и другие свидетельства аудита; фиксирует данные о персонале, с которым проводится собеседование, и о анализируемых в процессе собеседования документах; фиксирует данные о положительных результатах работы проверяемых, новые эффективные решения проблем и примеры положительного опыта для представления всесторонней картины проверяемой деятельности.

Аудитор должен проверять выполнение, анализировать и оценивать результативность корректирующих действий, предпринятых по результатам предыдущего аудита, если таковые проводились в проверяемой организации. Для получения результатов аудита свидетельства аудита должны быть сопоставлены с критериями аудита.

Особое внимание требуется уделить составлению корректирующих воздействий. В частности, очень полезно рекомендовать требование составления схемы проведения поиска поставщика с обязательным процессным подходом, что поможет качественно и оперативно реагировать на возникающие условия во взаимодействии с поставщиками (рис. 1).

Не маловажным составляющим является процесс постоянного прослеживания результативности проведенной работы по поиску и выбору поставщиков, поэтому требуется иметь схему этого процесса, например, такую, как рекомендуемую нами (рис. 2).

После проведения аудита на месте проводится заключительное совещание, цель которого представить результаты и заключения по аудиту.

Некачественная продукция, закупленная организацией или некачественные услуги, оказанные ей субподрядчиками, в конечном счете ведут к ряду негативных последствий: к неоправданным затратам, к неудовлетворенности конечных потребителей, что отрицательно сказывается на результатах деятельности организации, например, на прибыльности. Аудит поставщиков позволяет минимизировать вероятность нестабильных

поставок и низкое качество продукции/услуг, предлагаемых сторонней организацией.

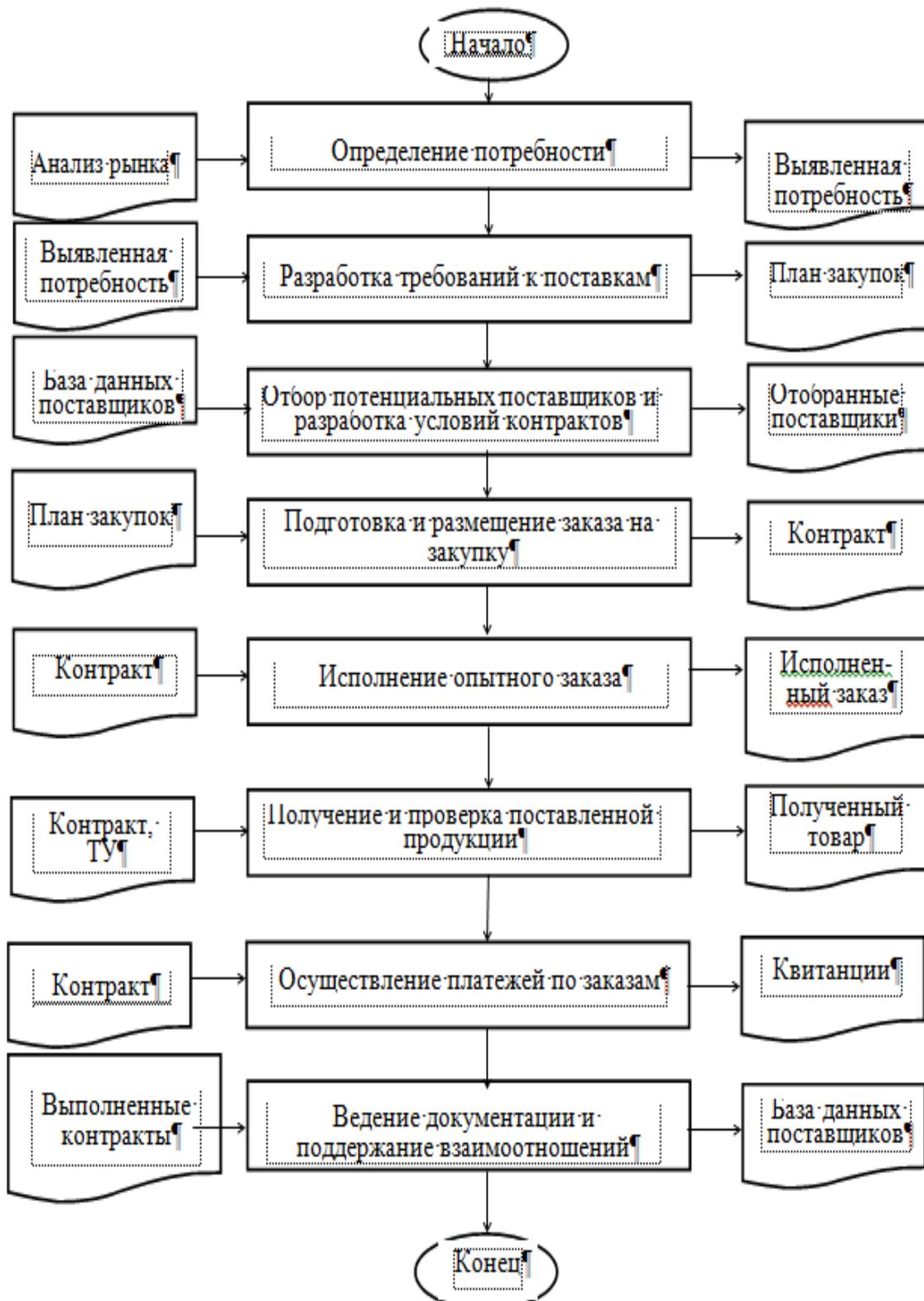


Рис. 1. Схема проведения поиска поставщика

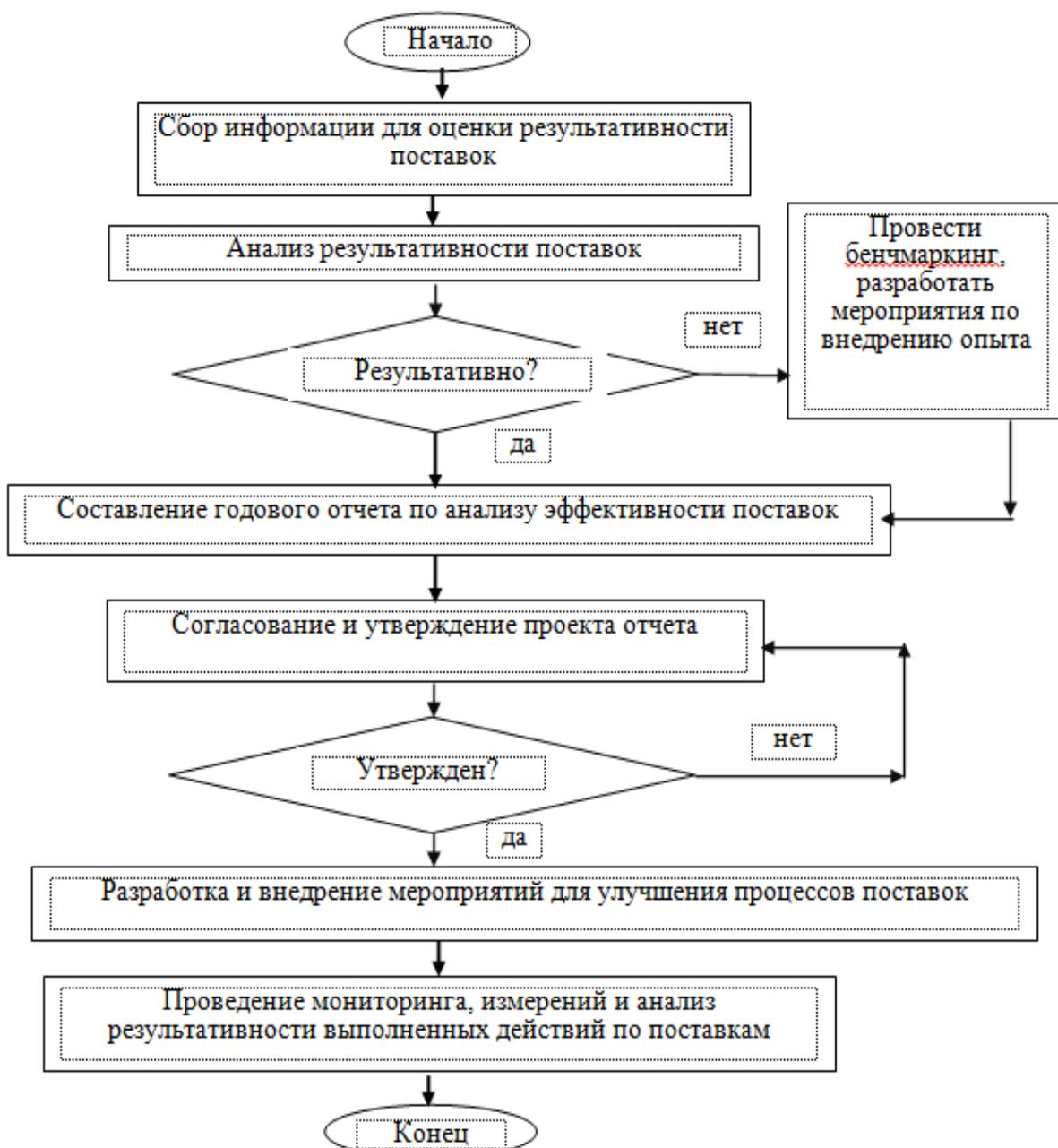


Рис. 2. Схема прослеживания результативности процесса поиска и выбора поставщиков

### Список литературы

1. Стаценко А. С. Разработка модели проведения внутреннего аудита в кафе с позиций процессного подхода / А. С. Стаценко, П. Е. Шурай, С. П. Шурай // VI Международная научно-практическая конференция «Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях». – Курск: «Юго-Западный государственный университет», 2019. – С. 274-278.
2. Ефремова В. Д. Процесс выбора потенциальных поставщиков / В. Д. Ефремова, П. Е. Шурай, С. П. Шурай // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сбор. научных трудов 3-й международной молодежной научно-практической конференции. – 2016. – С. 262-266.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКОГО СТЕКЛА ПОСРЕДСТВОМ СТАНДАРТИЗАЦИИ

*Ходыревская С.В.*, канд. хим. наук, доц., *Раевская М.П.*  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, РФ  
*raevskaya68@mail.ru*

**Введение.** В качестве совершенствования процесса производства медицинского стекла предлагается внедрение элементов «бережливого производства» [1, 2].

Неотъемлемой частью производственных процессов является процесс контроля качества, играющий важную роль как один из функций управления предприятием. Известно, что лидирующего положения на рынке достигают предприятия, способные обеспечивать качество своей продукции.

Местом внедрения является рабочее место контролера. Объектом выбраны ампулы медицинские стеклянные типа ВО – это ампулы вакуумного наполнения без пережима открытые, предназначенные для фасовки, транспортировки и хранения лекарственных средств. Ампулы типа ВО выпускаются вместимостью от 1 до 10 мл в соответствии с требованиями ТУ 9462-002-11068395-2005 [3, 4].

**Основная часть.** Стандартизация заключается в установлении норм и требований по организации рабочего места в соответствии с организацией рабочего пространства по системе 5S и стандартизации работы контролера. Контролер должен знать свои обязанности и быть в состоянии, соблюдать требования нормативной документации [5].

Для этого были разработаны стандартные операционные карты (СОК). Стандартная операционная карта – документ, описывающий последовательность действий и приемов при выполнении операции [6, 7].

В стандартной операционной карте должна быть указана информация об инструменте, приспособлениях и комплектующих, необходимых для выполнения операции [6, 7].

Внедрение СОК позволит стандартизировать не только рабочее место контролера, но и осуществить стандартизацию работ, выполняемых контролером.

Стандартные операционные карты разработаны для операций контроля следующих параметров: внешний вид ампул, термическая стойкость, отклонение соосности стебля ампулы, овальность стебля ампулы.

Для постоянного совершенствования и поддержания результатов необходимо выполнить несколько условий:

– выработка у персонала правильных привычек, закрепление навыков соблюдения правил (работники самостоятельно вырабатывают правила организации своей работы и вносят предложения по улучшению);

- внесение предложений по улучшению и проведение дальнейшего улучшения при непосредственном участии всех сотрудников, трудовая деятельность которых связана с рабочим участком и рабочими местами на нем;
- проведение цеховых дней «Бережливое производство», на которых должны подводиться итоги достижения запланированных показателей, анализироваться выполнение мероприятий, обсуждаться текущие проблемы и перспективные задачи.

Сравним временные характеристики и расстояние, которое проходит контролер текущего и будущего состояния протекания процесса контроля (см. рис. 1 и 2).

По данным рис. 1 и 2 видно, что, изменив ход процесса контроля можно сократить его длительность на 1215 с – это порядка 20 мин. и уменьшится расстояние, которое проходит контролер при выполнении контроля на 116,5 м.

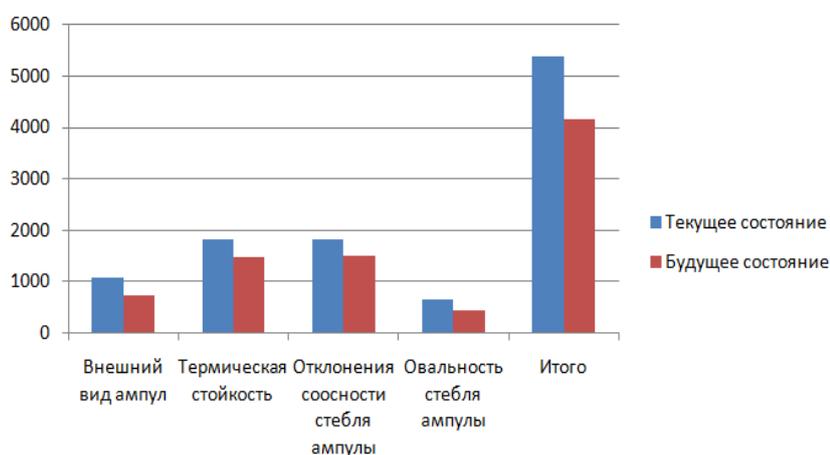


Рис. 1. Сравнительный анализ времени выполнения контроля

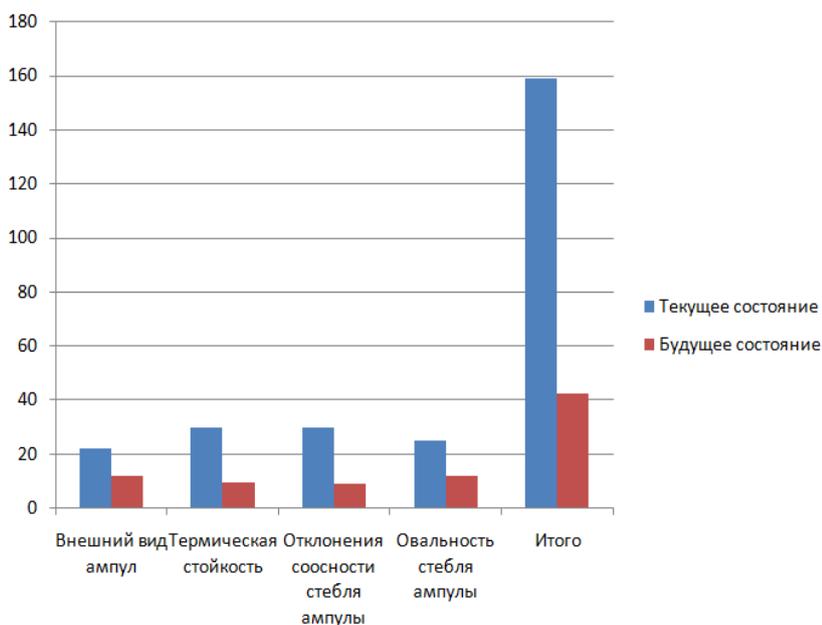


Рис. 2. Сравнительный анализ расстояния

**Заключение.** После внедрения стандартных процедур на рабочем месте контролера, это простая и недорогая система позволит повысить эффективность и улучшить моральный климат на этом участке.

Программа сократит лишние движения, позволит правильно организовать рабочее место и содержать его в чистоте, соблюдая стандартизованные правила [5].

Применение программы на предприятии даст следующие результаты:

- сократится время проведения контроля;
- уменьшится расстояние, которое проходит контролер во время выполнения контроля.

Кроме количественных характеристик совершенствование процесса контроля даст следующие результаты:

- повышение дисциплинированности и ответственности персонала, который приобретает навыки сознательного, постоянного, качественного выполнения работы;
- повышение качества проведения контроля с помощью контрольно-измерительного оборудования, который хранится в надлежащем состоянии;
- повышение квалификации контролеров, получивших опыт решения проблем совершенствованием производства и изменением отношения работников к выполнению работы;
- способность отдела качественно и в срок выполнить контроль качества ампул.

### **Список литературы**

1. Вумек Д. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Д. Вумек, Д. Джонс. – М.: Альпина Паблишер, 2021. – 472 с.
2. Ходыревская С. В. Карта потока создания ценности: практическое использование / С. В. Ходыревская // Стандарты и качество. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2015. № 3. – С. 88-89.
3. Химическая технология стекла и ситаллов / под ред. Н. М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
4. ГОСТ 19808-86 Стекло медицинское. Марки (с Изменением N 1) [Текст] – Введ. – 1988-01-01. – М.: изд-во стандартов, 1986. – 19 с.
5. Системы, методы и инструменты менеджменты качества: учебник / М. М. Кане [и др.]: под ред М. М. Кане. – СПб.: Питер, 2009. – 560 с.: ил.
6. ГОСТ Р 56906-2016 Бережливое производство. Организация рабочего пространства (5S) [Текст]. – Введ. 2016-10-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 11 с.
7. ГОСТ Р 56908-2016 Бережливое производство. Стандартизация работы [Текст]. – Введ. 2016-10-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 11 с.

# *Прикладная экология*

УДК 620.92

## **ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

*Александрова А.А., Сердюк А.И.*, д-р хим. наук, проф.  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, ДНР  
*aleksandra.a.a.s.338@mail.ru*

Декарбонизация подразумевает снижение выбросов углекислого газа (CO<sub>2</sub>). Эффект глобального изменения климата связывают с ростом концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. Рост CO<sub>2</sub> содержания в атмосфере связан с началом индустриальной революции, когда уголь стал основным энергоносителем. Целью декарбонизации является замена систем, основанных на ископаемом топливе, электроэнергией, производимой с использованием низкоуглеродистых ресурсов, таких как возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Возобновляемые источники энергии – это энергоресурсы постоянно существующих природных процессов, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоцентров растительного и животного происхождения [1]. К возобновляемым источникам энергии относят энергию солнечного излучения, потоков воды, ветра, биомассы, тепловую энергию верхних слоев земной коры и океана. ВИЭ можно классифицировать по видам энергии:

- механическая энергия;
- тепловая и лучистая энергия;
- химическая энергия.

***Механическая энергия (энергия ветра и потоков воды).*** Воздушные массы, перемещаясь в атмосфере, обладают большим кинетическим потенциалом. Воздух давит на лопасти крыльев двигателей и вращает их. Данный способ извлечения энергии, несмотря на высокую стоимость самих установок, используется в зонах с равнинным ландшафтом. Неудобство источника – непостоянство особенно в зимний период времени [2].

***Энергия солнечного излучения и тепла Земли.*** Сила излучения Солнца в несколько раз превосходит все другие ВИЭ. Однако большая часть лучей нейтрализуется по пути к Земле благодаря атмосфере. Существует масса установок для преобразования солнечной радиации: от простых сушилок и нагревателей воды до сверхдорогих фотоэлектрических установок, используемых в промышленности. В зимний период времени, многие из устройств не функционируют из-за того что засыпаны снегом [2].

**Химическая энергия.** Биомассой считаются различные органические отходы (сельскохозяйственных работ, деревообрабатывающей и бумажной промышленности). В результате переработки сырья в атмосферу выделяется лишь двуокись углерода. В настоящее время площади занятые сельскохозяйственными культурами сокращаются, и выращивать растения для получения биомассы негде [1].

**Особенности альтернативных источников.** Назначение альтернативных источников – поиск новых способов получения энергии, способных заменить традиционные виды. Возобновляемые ресурсы отвечают обоим требованиям [3].

К возобновляемым энергоресурсам принадлежат результаты процессов, постоянно происходящих на планете. Такими источниками являются:

- приливы и отливы;
- солнечное излучение;
- поверхность мирового океана;
- ветер;
- потоки воды;

**Приливы и отливы воды.** За счет действия гравитации Луны и Солнца на Земле существует явление приливов и отливов. Во время прилива уровень воды поднимается, по аналогии с действием ГЭС во время отлива может вырабатываться энергия. [3] Однако этот источник энергии настоящее время мало используется, так как требует огромных капиталовложений.

**Ветер.** Ветер явление, широко применяющееся в качестве источника. Он возникает за счет разницы давления в атмосфере и обладает кинетическим потенциалом. [3]. В зимний период времени ветровые преобразователи энергии зачастую покрываются льдом и становятся малоэффективными. В остальное время года часто бывает безветренная погода.

**Водные потоки.** Образовывающиеся водохранилища и разница уровней воды создают напор, вращающий турбины, от которых генераторы вырабатывают электричество [4]. Гидроэлектростанции (ГЭС) стали одним из надежных возобновляемых поставщиком энергии. В настоящее время все источники получения гидроэлектроэнергии практически исчерпаны.

В каждой стране в настоящее время наблюдается существенный сдвиг в сторону ВИЭ как экологически устойчивой и благоприятной для климата альтернативы для создания энергии.

Рассмотрим на примере Евросоюза. Сегодня Евросоюз – это мощное экономическое и политическое объединение. И этому ресурсу для поддержания и развития экономики и уровня жизни нужна энергия. Локомотивом экономического процветания Европы является Германия, политики которой сильно озабочены глобальным потеплением на планете,

поэтому выстраивают свою экономику на без углеродных источниках энергии. По-настоящему зима на сегодняшний момент застала Германию врасплох. Там, даже вновь заговорили о надежности традиционных газа и нефти. Хотя в нынешней ситуации не откажутся даже от угля. Испытание морозами там не прошла вообще вся «зеленая» энергетика. Альтернативные источники оказались парализованы. Снег повредил тысячи солнечных батарей, а наледь остановила сотни ветряков. Как итог Германия замерзала. В Германии дату прекращения работы угольных станций и необходимые для этого меры должна определить специальная правительственная комиссия, созданная в 2018 г, и в том же году выработка зеленой энергии в Германии впервые превысила выработку энергии на основе сжигания угля. Зеленые источники дали в совокупности 40 % выработки энергии, тогда как угольные станции – 38 %. Германия к 2050 году планирует сократить свои выбросы парниковых газов на 80-95 %, и к 2030 году они планируют сократить его на 55 % по сравнению с целевым показателем ЕС в 40 %. Россия имеет колоссальный потенциал для развития возобновляемой и водородной энергетике, одновременно выступая надежным поставщиком нефти и газа в ЕС [4]. С 2018 года водородная энергетика – приоритетное направление научно-технического развития Госкорпорации «Росатом». Российская атомная отрасль обладает существенным технологическим и научно-исследовательским потенциалом по развитию основных методов производства водорода – как паровой конверсии метана, так и электролизного производства. Одна из приоритетных технологических задач – обеспечить минимизацию выбросов углекислых газов при производстве водорода.

Полная декарбонизация энергосистем является единственным решением для стабилизации климата планеты. В настоящее же время полностью отказаться от традиционных источников энергии все же не реально. Наиболее экологически чистым из доступных источников топлива в настоящее время является природный газ, так как он имеет высокую скорость горения по сравнению с углем и нефтепродуктами, и, поэтому, при его сгорании мало выбрасывается в атмосферу оксида углерода, канцерогенных и взвешенных веществ (дыма).

### Список литературы

1. Панич А. Альтернативные источники энергии [Электронный ресурс] – <http://www.nestor.minsk.by/sn/2003/21/sn32118.html>
2. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. / Дж. Твайделл, А. Уэйр. – М. Энергоатомиздат. 1990. – 392 с.
3. Глухов В. В. Экономические основы экологии / В. В. Глухов, Т. П. Некрасова. –3-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 384 с.
4. [Электронный ресурс]: <https://cleanbin.ru/terms/renewable-energy>

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ НЕФТИ, ПРИРОДНОГО ГАЗА И ВОЗОБНОВЛЯЕМОСТИ ИХ ЗАПАСОВ**

*Барбашова М.В.*, канд. техн. наук,

*Карпинец А.П.*, канд. хим. наук, доц.

Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка, ДНР

*barbashova1987@gmail.com*

**Введение.** В современных условиях динамичного роста объемов потребления углеводородов нефти и природного газа во многих отраслях мировой экономики особую актуальность и значимость приобретает установление физических принципов, механизма и кинетических закономерностей процессов нефтегазообразования и восполняемости энергетических ресурсов. В настоящей работе проведен сравнительный анализ ключевых научных концепций, гипотез происхождения нефти и газа и сделан акцент на современной интерпретации (по Н. В. Черскому) этих многогранных физико-химических процессов и физических явлений.

**Основная часть.** Продолжительное время теоретическое обоснование генезиса нефти и газа имело две противоположные и конкурирующие научные концепции: органическую (биогенную) и неорганическую (минеральную) [1]. Согласно доминирующей сейчас биогенной концепции нефть и газ образовались как итог биodeградации останков растений и животных на дне водоемов на протяжении 10–60 млн. лет. Жидкие углеводороды заполнили собой пустоты, под влиянием высоких температур, давлений и концентраций органических веществ (ОВ) сформировали нефтяные месторождения. При этом нефть трактовалась как невозобновляемый природный ресурс [2].

В соответствии с минеральной концепцией нефть существенно моложе, создавалась она в недрах мантии Земли из имеющегося там набора неорганических веществ (карбонатов, карбидов металлов,  $\text{CO}_2$  и других углеродсодержащих соединений) при температурах свыше  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  и давлении в десятки килобар [2]. Нефть по трещинам глубинных разъемов поднималась дискретно на поверхность и накапливалась в ловушках пористых пластов нашей планеты, которые были прочно загерметизированы со всех сторон непроницаемыми слоями глин [2].

Характерно, что обе концепции имели довольно авторитетный состав создателей и приверженцев, и с переменным успехом в течение 19–20 веков претендовали на роль единственной и общепризнанной теории. Авторы органического подхода: М. В. Ломоносов, Н. Д. Зелинский, В. И. Вернадский, И. М. Губкин, К. Энглер, Г. Гефер, П. Смит и другие. Их

оппоненты – создатели неорганической гипотезы: Д. И. Менделеев, А. Гумбольд, М. Бертло и другие ученые [2].

Сейчас обе научные концепции переживают кризис, который обусловлен их неспособностью интерпретировать новые факты и явления возобновляемости запасов нефти и газа. При этом восполнение ресурсов ранее добытых полезных ископаемых происходит в ходе непрерывной разработки их месторождений за период времени, соизмеримый с продолжительностью жизни человека. В итоге следует однозначный вывод: в масштабах как отдельных стран, так и всего Земного шара при разумном ведении хозяйственной деятельности и рациональном использовании природных ресурсов истощение углеводородного сырья человечеству вовсе не угрожает [2].

Рассмотрим кратко (детальное изложение в работе [1]) физико-химические закономерности современной теории нефтегазообразования. Подчеркиваем, что проблемы механизма и кинетики происхождения нефти и газа, непрерывности реакций генезиса углеводородов и сокращения времени их генерации, несомненно, сложные и приоритетные для всей фундаментальной науки, инновационных технологий, перспектив развития общества, техносферной безопасности. Изучение термодинамических, топографических особенностей различных стадий и реакций процессов, строения и активности, образующихся интермедиатов, а также физических и геологических явлений при нефтегазообразовании осуществляется с применением новейших достижений теоретической и экспериментальной физики, геологической, химической науки, механохимии, целой гаммы современных физических и физико-химических методов исследования, включая разновидности моделирования, квантово-химические расчеты, систематизацию и анализ информации, полученной на искусственных спутниках Земли [1]. Кстати, одна из гипотез, а именно о космическом происхождении на нашей планете метановых морей, не подтвердилась [2].

Заметный вклад в решение поставленных проблем внесли советские и российские ученые: академик Н. В. Черский, В. П. Царев, В. И. Молчанов, Б. А. Соколов, А. Н. Гусева, В. Н. Ларин, П. П. Тимофеев, А. В. Щербаков, В. А. Ильин, Н. А. Кудрявцев, А. И. Агафонов, Р. Х. Муслимов и другие.

Самым значимым и детерминирующим представляется открытие, сделанное коллективом ученых под руководством академика Н. В. Черского. Теоретически и экспериментально обосновано образование нефти и газа как из органических, так и минеральных веществ при активном участии в синтезе углеводородов как тепловой энергии в глубинных слоях Земли, так и что самое главное – упругих волн сейсмических и тектонических процессов [3]. В результате удалось раскрыть одну из главных тайн глобального подземного реактора синтеза нефти и природного газа.

В серии специальных экспериментов облучение упругими волнами осадочных пород вызывало ускорение в них диффузии в 40–50 раз, увеличение проницаемости этих пород для нефти и воды в 70 раз. При этом оказалось, что сейсмотектонические процессы не только активируют подземную генерацию нефти, но и в сотни, тысячи раз ускоряют ее перемещение, накопление в залежах месторождений. Итог указанного открытия полностью подтверждает концепцию возобновляемости ресурсов нефти и газа и дает возможность прогнозировать их запасы в тех глубинных слоях земной коры (5–8 км и более), которые ранее считались совершенно бесперспективными [2]. Самый убедительный аргумент восполняемости ресурсов нефти – более чем 120-летний опыт эксплуатации нефтяных скважин под Баку, пробуренных еще А. Нобелем.

В настоящее время весьма актуальна проблема исследования кристаллического фундамента (КР) Земли, который помогает подпитывать из глубин месторождения осадочного чехла по скрытым трещинам и разрывам [4]. По мнению ведущего эксперта Т. Кёнинга, миру еще предстоит открыть огромные запасы нефти и газа КФ, в особенности в Юго–Восточной Азии и Африке. Компания SOCOInternational уже сейчас активно разрабатывает КФ во Вьетнаме и Йемене [4].

**Заключение.** Актуализированы и всесторонне обсуждены подходы к проблемам генезиса нефти, природного газа, и восполняемости их запасов. Научно обоснованный и оптимистический вывод ученых о том, что Земля сама обеспечивает нас нефтью и будет делать это и дальше [4] позволяет прогнозировать рациональное использование энергетических ресурсов на ближайшую и более отдалённую перспективу с учетом достижений научно – технического прогресса и прикладной экологии.

### Список литературы

1. Карпинец А. П. Физико-химические закономерности и физические методы исследования технологии производства высокооктановых бензинов из промышленных отходов синтеза ПАВ / А. П. Карпинец, М. В. Барбашова // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2021. – №1 (36). – С. 67–81.
2. Агафонов А. И. Теоретическое и практическое обоснование возобновляемости запасов нефти и природного газа. Анализ современного состояния проблем происхождения нефти и газа. / А. И. Агафонов. // Бурение и нефть. – 2019. – №1. – С. 22–29.
3. Черский Н. В. К тайнам глобального реактора / Н. В. Черский // Наука и человечество: человек, Земля, микромир, вселенная, технический прогресс. – Москва: Знание. – 1989. – С. 332–343.
4. Земля сама обеспечивает нас нефтью. – Текст: электронный // ИА Девон: [сайт]. – URL: [https://iadevon.ru/news/recomendations/%C2%ABzemlya\\_sama\\_obespechivaet\\_nas\\_neftyu%C2%BB-9696/](https://iadevon.ru/news/recomendations/%C2%ABzemlya_sama_obespechivaet_nas_neftyu%C2%BB-9696/) (дата обращения: 18.11.2020).

## СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

**Белецкий Я.О., Сердюк А.И.**, д-р хим. наук, проф.

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, ДНР  
*mailbox@donnasa.ru*

В современном мире в каждом доме всё больше и больше электронных устройств (гаджетов) всем этим устройствам необходим для работы электрический ток, но как отказаться от использования проводов и розеток для электропитания? На помощь пришли химические источники тока новые устройства, которые накапливают электрический заряд, и могут отдавать его устройству. Этими устройствами стали аккумуляторы и батарейки, но со временем, когда их стало всё больше в мире, то стал вопрос об их переработки и утилизации мы рассмотрим способы переработки химических источников тока.

Обычная щелочная батарейка – это металлическая трубка, покрытой пластмассой и бумагой. Внутри находится цинковый анод и марганцевый катод. Элементы питания относятся к категории опасных отходов 1-го и 2-го класса. В них содержится литий, никель, кадмий, гидрид никеля, а также марганец и цинк. Если их выбросить на свалку, то они будут загрязнять окружающую среду более 30 лет. А период их разложения составляет до 100 лет. Именно поэтому нельзя выкидывать батарейку в мусор. На рис. 1 приведены примеры и маркировки щелочных батареек.

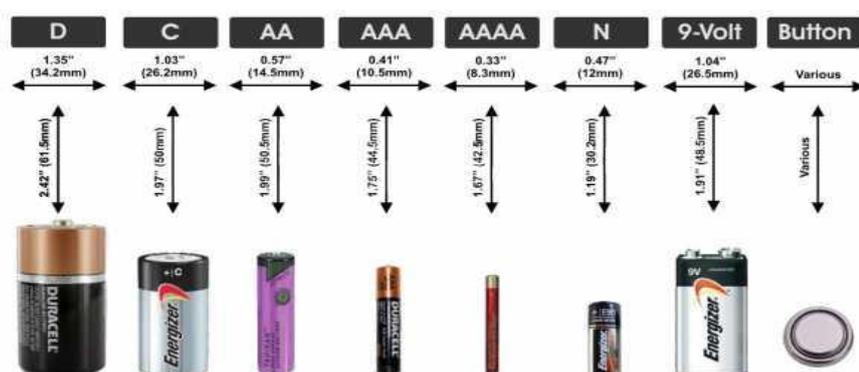


Рис. 1. Виды и маркировка популярных щелочных батареек

Переработка происходит в несколько этапов:

- Сортировка, на грузовую эстакаду выгружают большие бочки, в которых лежат собранные старые батарейки. Рабочие выгружают бочки на погрузчик для перевозки на сортировочную станцию 80 % всех батареек, поступающих на завод, являются щелочными. Сортировщики высматри-

вают батарейки других типов, таких, как никель-кадмиевые и свинцово-кислые. Эти нещелочные батарейки откладываются в отдельные контейнеры: их отправят на переработку в другое место.

- Измельчение, следующий этап – извлечение цинка и марганца из металлических корпусов щелочных батареек. Погрузчик подвозит батарейки к ступенчатому транспортеру, который переместит их в молотковую дробилку. Молотки дробилки вращаются на оси, разбивая и разбирая бумагу, пластмассу и металлический корпус. Батарейки размалываются на кусочки размером 1-см. Похожая на гравий смесь бумаги, пластмассы, стали и минералов попадает на транспортер.

- Просеивание, лом батареек попадает на вибрационное сито, где магниты вытягивают частицы стали, затем мощный вихревой электрический ток выталкивает другие металлы, такие как медь и бронза, сбрасывая их с транспортера. Остающиеся обломки марганца и порошок оксид цинка просеивается через сито [1].

Также химическими источниками тока помимо батареек являются аккумуляторы (ЛИА), которые способны разряжаться и заряжаться большое количество раз в отличие от щелочных батареек. Наиболее перспективные, энергоёмкие (но не самые дешёвые) литий-ионные аккумуляторы бывают различные по химическому составу. Типы литий-ионных аккумуляторов (ЛИА):

1. Литий-полимерные аккумуляторы – еще один тип литиевых аккумуляторов. Тонкие ячейки Li-Polymer обеспечивают высокую и объёмную плотность энергии. Такие аккумуляторы стабильны при высоких температурах и перепадах напряжения. Чаще всего литий-полимерные аккумуляторы применяются в беспроводных устройствах, портативных плеерах, цифровых камерах, ноутбуках.

2. Аккумуляторы  $\text{LiFePO}_4$  – это батареи с высокой степенью безопасности, большим жизненным циклом (до 2000) и достаточно невысокой себестоимостью при производстве. Батареи  $\text{LiFePO}_4$  идеально подходят для высоких токов разрядки, и широко используются в военной технике, солнечных энергосистемах, источниках бесперебойного питания, электроинструментах и электрических велосипедах.

3. Аккумуляторы  $\text{Li} - \text{MnO}_2$  (литий-диоксид марганец) – это источники питания с легким литиевым анодом и твердым катодом, погруженным в нетоксичный органический электролит. Такие ЛИА применяются в электронных системах контроля доступа, медицинском оборудовании, пожарной сигнализации, современной цифровой технике, а также в аварийных радиобуях и резервных источниках питания [2].

Обычно процесс утилизации ЛИА состоит из нескольких стадий:

- производится вымывание электролита, содержащего соли лития;
- производится растворение адгезии и удаление с пластин около 70 % материала анода и катода;

- пластины меди и алюминия подлежат переплавке;
- пластиковый корпус измельчается и переплавляется, далее его можно использовать как добавку для покрытий автодорог.

Также существует технология переработки аккумуляторов с восстановлением материал катода отработанной литиевой батареи. Техпроцесс с небольшими изменениями одинаково подходит для восстановления любых видов литиевых аккумуляторов, независимо от их вида и формы. Отработанный катод, лишившийся большей части ионов лития и с нарушенной кристаллической решёткой соединения, помещается в щелочной раствор с солями лития. Затем происходит быстрый и кратковременный нагрев смеси до 800 градусов по Цельсию, после чего раствор медленно остывает. Тесты в лаборатории показали, что аккумулятор с катодом из восстановленного материала ни в чём не уступает аккумулятору с катодом, изготовленным из свежего сырья [3].

### Список литературы

1. Миклушевский В. В. Утилизация химических источников тока / В. В. Миклушевский // Экология и промышленность России. – 2002. – № 12. – С. 24-26.
2. Скундин А. М. Активность лития, интеркалированного в углеродные материалы / А. М. Скундин, О. Ю. Егоркина // Электрохимия. – 1995. – Т. 31, № 4. – С. 373-375.
3. Обезвреживание и утилизация реакторной части литиевых батарей системы Li/LiBF<sub>4</sub>, у -В.n/(CF)<sub>x</sub> / В. Н. Плахотник, Е. И. Бондарь, И. Л. Гуливец и др. // Тез. докл. III совещ. стран СНГ по ЛИТ. – Екатеринбург, 2004 – С. 87.

УДК 504.3.054

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ В ПЕРИОДЫ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ I, II, III КАТЕГОРИИ**

*Васильева М.А.*

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ», г. Казань, РФ  
*vasileva\_masha1@mail.ru*

**Введение.** Согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 28 ноября 2019 г. № 811 «Об утверждении требований к мероприятиям по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий» [1], п.5: Разработка мероприятий при НМУ осуществляется для всех источников выбросов на ОНВ I, II и III категорий, подлежащих нормированию в области охраны окружающей среды, согласно Статье 22 Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

**Основная часть.** На основании проекта предельно-допустимых выбросов [2], проекта инвентаризации источников предприятия, свидетельства о постановке на государственный учет объекта оказывающего негативное воздействие на окружающую среду разрабатывается проект плана мероприятий при неблагоприятных метеорологических условиях.

На примере предприятия «N», основной вид деятельности которого обеспечение электроэнергией, которое относится к 3 категории объекта негативного воздействия на окружающую среду. В процессе деятельности предприятия выделяется 27 наименований загрязняющих веществ, 4 групп веществ обладает эффектом суммации, 18 источников выбросов (7 организованных) общей массой 0,358015 т/год в целом по предприятию (0,658702 г/с).

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 08.07.2015 N 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды»[3], у предприятия «N» 4 наименования загрязняющих веществ не подлежат нормированию, 5 источников выброса являются ненормированными.

Согласно п. 11. Приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 28 ноября 2019 г. № 811: для составления перечня веществ, проводится анализ результатов расчетов рассеивания выбросов, определяются значения и контрольные точки на границе и на территории жилой зоны и особых зон, к которым предъявляются повышенные санитарно – эпидемиологические требования к атмосферному воздуху в городских и сельских поселениях, а также рассчитываются вклады выбросов конкретных стационарных источников в приземные концентрации (в процентах) в контрольных точках.

Для случаев увеличения значений расчетных концентраций в контрольных точках на 20 %, 40 % и 60 % проводится сравнение таких значений с ПДК соответствующих загрязняющих веществ.

Расчетные приземных концентраций производился в программе УПРЗА «Эколог-город» версии 4.60. Так, в таблице представлены концентрации для ряда нормируемых загрязняющих веществ с наибольшей концентрацией.

Расчет рассеивания по всем веществам не показал превышения более 1ПДК на промплощадке, на границе санитарно-защитной зоны, и более 0,8 ПДК для жилой и селитебной зоны.

**Заключение.** Таким образом, согласно проведенному анализу расчета рассеивания загрязняющих веществ, при увеличении расчетных приземных концентраций загрязняющих веществ, создаваемых выбросами ОНВ, в контрольных точках на 20 %, 40 % и 60 %, превышения гигиенических нормативов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе не наблюда-

ются и согласно п. 12 Приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 28 ноября 2019 г. № 811 «Об утверждении требований к мероприятиям по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий», разработка мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий не требуется.

Таблица

Загрязняющее вещество		Макс. конц., доли ПДК	Максимальные концентрации за границей территории ОНВ в КТ при их увеличении		
Код	Наименование		на 20%	на 40%	на 60%
1	2	3	4	5	6
0143	Марганец и его соединения (в пересчете на диоксид марганца)	0,37	0,444	0,518	0,592
0301	Азота диоксид	0,24	0,29	0,34	0,38
0304	Азота оксид	0,01	0,012	0,014	0,016
0330	Ангидрид сернистый	0,22	0,264	0,308	0,352
0333	Сероводород	0,001	0,0012	0,0014	0,0016
0337	Углерода оксид	0,06	0,07	0,08	0,10
0342	Фтористые соединения газообразные	0,04	0,05	0,056	0,064
1325	Формальдегид	0,008	0,0096	0,0112	0,0128

### Список литературы

1. Об утверждении требований к мероприятиям по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 28.11.2019 г. № 811 // Собрание законодательства РФ, 1999, №18.
2. Об утверждении методики разработки и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 11.08.2020 г. № 581 // Собрание законодательства РФ, 1999, №18.
3. Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды: Распоряжение Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р.

## ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКИ В АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

**Григорьев Е.С.**, канд. физ.-мат. наук, **Полянский А.А.**

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*grigoryev\_eu@mail.ru*

При механической деформации некоторых кристаллов на определённых гранях этих кристаллов возникают электрические заряды. Знак заряда зависит от вида деформации: сжатие – растяжение. Явление возникновения электрической поляризации  $P$  в диэлектриках под действием механических напряжений  $T$  называется прямым пьезоэлектрическим эффектом.

В современной технике пьезоэлектрический эффект широко используется в качестве чувствительного элемента в микрофонах и гидрофонах, в пьезогенераторах электроэнергии различного назначения, в головках звукоснимателя электрофонов, приёмных элементов сонаров, в зажигалках и пр. [1].

Пьезоэффект вызывается существующими в кристалле ацентрически расположенными дипольными моментами. Расположение таких диполей в решётке кристалла определяется его пространственной симметрией. Существуют двадцать различных пьезоэлектрических классов точечной симметрии кристаллов.

В общем случае низкосимметричного кристалла уравнение прямого пьезоэффекта имеет вид  $P_i = d_{ikl} T_{kl}$ , где  $d_{ikl}$  – тензор пьезоэлектрических модулей третьего ранга. Связь механических деформаций  $X_{ij}$  с приложенным к кристаллу электрическим полем  $E_k$  определяется уравнением  $X_{ij} = d_{ikl} E_k$ . Матрица пьезоэлектрических модулей имеет определённый вид для каждого кристаллографического класса кристаллов. Как пример, для монокристаллического кварца, который обладает точечной группой симметрии 32, матрица пьезоэлектрических модулей имеет следующий вид

$$\begin{vmatrix} d_{11} & -d_{11} & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -d_{14} & -2d_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Пьезоэффект может наблюдаться не только в монокристаллах, но и в поляризованных веществах. В частности, в предварительно поляризованных сегнетокерамиках. Неполяризованная керамика изотропна и, следовательно, не обладает пьезоэлектрическими свойствами. Поляризованная керамика анизотропна и принадлежит к точечной группе  $\infty m$ , то есть

обладает поворотной осью бесконечного порядка и бесконечным числом продольных плоскостей симметрии, параллельных этой оси. В системе координат, где ось  $X_3$  совпадает с осью бесконечного порядка, матрица пьезоэлектрического тензора такой керамики имеет вид

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ d_{13} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Пьезокерамические материалы имеют такие преимущества перед пьезоэлектрическими кристаллами как возможность изготовления пьезоэлементов сложных геометрических форм, а также большой коэффициент электромеханической связи. Недостатками пьезокерамических материалов являются низкая в сравнении с монокристаллами температурная стабильность свойств и более высокие потери.

Одним из перспективных применений пьезоэффекта в технике является строительство самообеспечивающих дорог, которые могут собирать энергию колебаний от трения, вибрации дорожного покрытия с помощью пьезокристаллов, которые вмонтированы в покрытие дороги. Асфальтовое покрытие дороги, сконструированное таким образом, деформируется при проезде автомобилей, превращая энергию давления проезжающих машин в электрическую энергию. Пьезоэлектрические дороги эксплуатируются в развитых странах, обеспечивая электроэнергией дорожную инфраструктуру.

Оценить эффективность пьезопокрытия можно по электрическому напряжению, которое возникает при деформации пьезоэлектрического материала. Для имитации давления со стороны автотранспорта на пьезоэлектрический материал наклеивался слой ферромагнетика (интерметаллида) с помощью эпоксидного компаунда, и такая структура помещалась в постоянное и переменное магнитные поля. Постоянное магнитное поле создавалось с помощью электромагнита, переменное – катушек Гельмгольца.

При помещении во внешнее магнитное поле ферромагнетик за счёт магнитострикции меняет свои линейные размеры и передаёт деформацию пьезоматериалу. Электрическое напряжение, возникающее на электродах, регистрируется осциллографом или вольтметром. Electroды для измерений наносят на пьезокерамику методом вжигания серебряной пасты [2].

К числу недостатков пьезодорог относятся дорогое создание керамических пьезоэлементов, большая токсичность при разрушении. Кроме этих минусов огромную проблему вызывает процесс поддержания постоянной промышленной частоты переменного тока.

Пьезоэлектрическое покрытие дорог при решении вышеуказанных проблем является очень перспективным направлением для развития энергосберегающих технологий и альтернативных источников энергии.

Кроме автомобильных трасс, пьезоэлектрические генераторы можно использовать при проектировании взлётно-посадочных полос, в качестве прокладок между шпалами и рельсами железнодорожных путей.

### Список литературы

1. Определение параметров эквивалентной схемы пьезокристаллов / Е. С. Григорьев, Н. И. Борисова, А. А. Полянский, А. Е. Зотов // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: матер. V Междунар. науч. конф. (Донецк, 17-18 ноября 2020 г.). – Донецк: ДонНУ, 2020. – Т. 1: Физико-математические и технические науки. – Ч. 2. – С. 38–40.
2. Особенности прямого магнитоэлектрического эффекта в двухслойных композитах  $Tb_{0,12}Dy_{0,2}Fe_{0,68} - PbZr_{0,53}Ti_{0,47}O_3$  / С. А. Гриднев, Ю. Е. Калинин, А. В. Калгин, Е. С. Григорьев // Известия РАН. Серия физическая. – 2013. – Т. 77, № 8. – С. 1134–1137.

УДК 661.152.5

## РАЗРАБОТКА И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ ЦИНКОВОЙ ИЗГАРИ ДЛЯ СИНТЕЗА ЖИДКИХ ХЕЛАТНЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ

*Громенко В.О.<sup>1</sup>, Рублева Л.И.<sup>2</sup>, канд. хим. наук, доц., Алёхов Ю.А.<sup>1</sup>,  
Светлаков О.Ю.<sup>1</sup>, Журавлев С.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ГУ «НИИ «Реактивэлектрон», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк ДНР

*vika\_gromenko@mail.ru*

**Введение.** Ресурсосбережение, обеспечение экологической безопасности, обеспечение плодородия почв, рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды являются одним из приоритетных направлений реализации курса на устойчивое развитие Донецкой Народной Республики.

Разработка малоотходных наукоемких технологий получения высокоэффективных жидких комплексных микроудобрений на основе хелатных комплексов (комплексонатов) меди, цинка, марганца, кобальта с этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА) из техногенных отходов предприятий Донбасса позволяет комплексно подойти к решению этой проблемы.

**Основная часть.** Целью настоящей работы является оптимизация технологии утилизации цинковой изгари для обеспечения сырьевой базы производства жидких комплексных хелатных микроудобрений (ЖКМУ) и снижения уровня техногенной нагрузки на окружающую среду.

На основе патентной базы Роспатента, и данных приведенных в базах патентов Украины, Европейского патентного бюро и Евразийской патентной организации нами проведен обзор наиболее перспективных технологических методов утилизации цинковой изгари:

- способ получения раствора азотнокислого цинка из отхода металлургического производства изгари цинка. Задача решается путем получения раствора нитрата цинка из цинковой изгари и азотной кислоты с введением в реакционную массу раствора карбамида при молярном соотношении  $\text{HNO}_3$ :  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  1,0: (0,02-0,05) с целью исключения возможности образования окислов азота и выделения их в атмосферу [1];

- способ переработки изгари цинка включает нагрев кусков изгари цинка размером 50-300 мм до температуры 540-560°C, что позволяет максимально использовать выделенный цинк из его изгари в технологии горячего цинкования [2];

- способ [3] относится к химической технологии неорганических веществ и может быть использован для получения гексагидрата сульфата цинка-аммония и для извлечения цинка (II) из отработанных электролитов цинкования. Он включает приготовление реакционного водного раствора, содержащего цинк(II), аммоний, сульфат, кристаллизацию целевого продукта из раствора, отделение кристаллов продукта от раствора, при этом для приготовления реакционного водного раствора используют отход гальванического производства – отработанный электролит цинкования, а кристаллизацию проводят при температуре от -5 до 35°C;

- способ электрохимического получения сульфата цинка из отходов металлургического или химического производств, который включает выщелачивание исходного сырья электролизом, удаление примесей из раствора в виде малорастворимых соединений и возвращение отработанных отходов на стадию выщелачивания; в качестве исходного сырья используется изгарь цинка или лом отработанных аккумуляторов. Электрохимическое выщелачивание проводят в сульфатном электролите, подкисленном серной кислотой до ее концентрации в растворе 2-20 %(масс.) и  $\text{pH}=0,1-2,0$  [4];

- разработка [5] описывает высокоэффективное оборудование, производящее сульфат цинка из цинковой пыли и полный технологический процесс этого производства.

- способ [6] включает следующие этапы, на которых цинксодержащая пыль подается в устройство высокоскоростной вихревой плавки, температура плавки достигает 1400-1600 °C, содержание цинка в порошковом материале уменьшается, в печь вводится газ, и жидкий шлаковый чугун течет вниз вдоль стенки печи, чтобы попасть в ванну расплава печи; отработанный цинксодержащий печной газ подвергается грубому удалению пыли и получается богатый цинком порошок с более чем 50 % Zn.

Основное внимание исследователей уделено разработке технологических процессов с целью максимального извлечения цинка из цинковой изгари и других цинксодержащих отходов, но без утилизации образующихся при этом вторичных отходов. Следует также отметить, что информация по извлечению цинка из отходов металлургических пред-

приятый для прямого получения товарных продуктов без промежуточной стадии синтеза кристаллических солей цинка отсутствует.

В ГУ «НИИ «Реактивэлектрон» проводятся исследования, направленные на оптимизацию технологических методов комплексной переработки цинковой изгари для получения цинксодержащих хелатных микроудобрений и получения неорганических пигментов для производства цветных строительных материалов из вторичных отходов [7, 8]. Ранее нами были разработаны методы получения цинксодержащих хелатных микроудобрений для зернобобовых и технических культур (подсолнечник, кукуруза), а также показана их высокая эффективность и экологическая безопасность применения [7, 8]. В настоящее время проводится оптимизация метода получения жёлтых пигментов на основе ZnO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для цветных строительных материалов из вторичных отходов, образующихся утилизации цинковой изгари.

**Заключение.** Таким образом, разработана малоотходная технология комплексной утилизации цинковой изгари, которая позволит:

- обеспечить сырьевой базой производство цинксодержащих ЖКМУ, повышающих урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции растениеводства;
- уменьшить экологическую нагрузку в промышленных зонах линий горячего цинкования.

#### Список литературы

1. Пат. 2108285 Российская Федерация, МПК C01B 21/48, C01G 1/08, C01G 9/00. Способ получения нитрата цинка/ В. Л. Ягубова, О. В. Чумаевский; заявитель и патентообладатель АО закрытого типа «ФК»; заявл. 06.06.1996; опубл. 10.04.1998.
2. Пат. 2267546 Российская Федерация, МПК C22B 19/30 (2006.01), C22B 7/00. Способ переработки изгари цинка/ Б. Н. Кодочигов; заявитель и патентообладатель ЗАО «Нижнесергинский метизно-металлургический завод»; заявл. 18.08.2004; опубл. 10.01.2006, Бюл. № 01.
3. Пат. 2340403 Российская Федерация, МПК B03B 9/06 (2006.01), C22B 19/30. Способ переработки цинксодержащих пылей и шламов металлургического и горного производства/ заявитель и патентообладатель В. Х. Валеев, С. Р. Калмукашев, В. Ф. Колесников и др.; заявл. 08.02.2006; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 34.
4. Пат. 54526 Украина, МПК C01G 9/00, C01G 53/00, C22B 3/06. Спосіб електрохімічного одержання сульфатів цинку або нікелю з відходів металургійного або хімічного виробництв/ В. П. Шрам; заявитель и патентообладатель ООО «Научно-производственное предприятие «Электрохим»; заявл. 05.01.2003; опубл. 17.03.2003, Бюл. №3
5. Пат. CN110669942 (A) КНР, МПК C21B 13/00, C22B 19/20; C22B 19/30; C22B 5/12; C22B 7/02. Method for treating zinc-containing dust in steel plant/ Zhang Wei, Zhang Liguo, Zhu Jianwei и др.; заявитель и патентообладатель Angang Steel Co Ltd.; заявл. 26.08.2019; опубл. 10.01.2020.
6. Пат. CN208269638 (U) КНР, МПК F27B7/32. Utilize rotary kiln feeding device who contains zinc smoke and dust ash production zinc sulfate/ Liu Wenchen, Feng Xiaohui, Li Xiaoqiang и др.; заявитель и патентообладатель Hebei Yuanda Zhongzheng Biotechnology Co Ltd.; заявл. 21.12.2018; опубл. 26.08.2019.

7. Громенко В. О. Технологические методы получения монохелатов цинка и железа из отходов промышленных линий горячего цинкования / В. О. Громенко [и др.] // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы V Междунар. научн. конф. (Донецк, 17-18 ноября 2020 г.). – Донецк: ДонНУ, 2020. – Т. 1. – С. 67-69.
8. Щепина Н. Д. Экологическая оценка применения микроудобрений при выращивании подсолнечника и кукурузы в почвенно-климатических условиях Донбасса / Н. Д. Щепина [и др.] // Промышленность и сельское хозяйство. – 2021. – № 6. – С. 21-28.

УДК 628.472

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

**Калинихин О.Н.**, канд. техн. наук, доц., **Вишнякова А.Н.**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР  
*mailbox@donnasa.org*

**Введение.** Одной из наиболее актуальных проблем современности является образование и накопление твердых коммунальных отходов (ТКО), которые необходимо собирать, обезвреживать, утилизировать с целью улучшения качества окружающей среды и экономии природных ресурсов.

Проблема обращения с ТКО на сегодняшний день это одна из наиболее острых природоохранных задач для Донецкой Народной Республики, где только по состоянию на 2020 г. количество образовавшихся отходов данного вида составляет порядка 11 млн. т. Наиболее критичными аспектами в сфере обращения с ТКО на республиканском уровне остаются: отсутствие налаженной системы размещения ТКО и системы учета контролирующими органами; несовершенство системы сбора и удаления ТКО из населенных пунктов; отсутствие оборудованных в соответствии с современными требованиями полигонов и других мест размещения ТКО, недостаточно активное внедрение современных технологий по переработке ТКО [1].

При этом важно понимать, что огромное значение в процессах обращения с ТКО играют, не только методы утилизации отходов, но и процессы их сбора и транспортировки.

**Основная часть.** Увеличение расстояния и затрат на транспортировку ТКО к местам их обезвреживания и переработки, снижение их плотности, повышение санитарно-гигиенических требований к охране окружающей среды требуют применения современных систем сбора и удаления ТКО. Во многих городах ДНР расстояние транспортировки ТКО составляет от 15 до 25 км [2], что дает основания при условии детальных

техничко-экономических расчетов осуществить переход на двухэтапную перевозку ТКО. При этом опыт Российской Федерации и в частности Южного федерального округа, показывает, что именно двухэтапная перевозка ТКО с использованием транспортных мусоровозов большой вместительности и съемных пресс-контейнеров является наиболее оптимальным вариантом транспортировки как с точки зрения логистики и экономики, так и с точки зрения техносферной безопасности.

Мусороперегрузочная станция (МПС) является специализированным объектом, предназначенным для перегрузки ТКО из мусоровоза-сборителя в приемный или накопительный бункер, или в транспортный мусоровоз в зависимости от выбранного технологического варианта применения МПС [3].

Положительные эффекты применения МПС обусловлены как уменьшением потребляемого топлива, мусоровозами, а вследствие, снижения количеств выхлопных газов, выбрасываемых в атмосферу; и заканчивая уплотнением вывозимого мусора, сортировки по составу и нейтрализации опасных компонентов ТКО. Транспортные мусоровозы способны совершать рейсы на расстояние от 30 до 70 км. Количество рейсов собирающего 15 – 20, транспортного 4 – 5 при объеме до 120 м<sup>3</sup> [4].

Существует два вида мусороперегрузочных станций: автоматическая и механическая.

К первому виду можно отнести линию перегрузки ТКО с элементами сортировки, которую, на сегодняшний день, можно назвать наиболее экологически и экономически выгодной.

К основным этапам транспортировки ТКО с использованием МПС относят:

1. Выгрузка. В первую очередь, собранные в населённых пунктах ТКО доставляют на МПС с помощью мусоровозов и сгружают на площадку разгрузки. Для крупногабаритных грузов построена отдельная площадка. Сваленный мусор погрузчик загружает на первый этап конвейерной линии.

2. Высвобождение ТКО. Именно с этого начинается сортировочный процесс. Как правило, отходы приходят в пакетах, которые затрудняют процедуру их распределения. Поэтому на подобных станциях используются специализированные бункера, так называемые «разрыватели пакетов». Он вскрывает пакеты различной величины и полностью высвобождает их содержимое. При этом общая масса отходов разрыхляется и равномерно подается для сортировки.

3. Грохочение. После освобождения мусора от оболочки он попадает в специальный барабан. Данный аппарат предназначен для сортировки однородной массы по габаритам. Барабанный грохот отделяет крупные частицы ТКО от мелких и направляет их на отдельные конвейерные линии.

4. Ручная работа. На следующем этапе мусор проходит ручную сортировку. Работники линии распределяют обработанный массив по

нескольким бункерам – стекло, бумага, пластик, металл и прочие виды отходов. Именно здесь решается, что отправить на утилизацию (повторную переработку), а что на захоронение. Отобранное для повторного использования сырьё складировается на территории станции и ждет покупателя. Например, как правило, ТКО из Чувашии для повторной переработки закупают предприятия Казани, Владимира и Нижнего Новгорода [5].

5. Прессование. ТКО, не пригодные для вторичной переработки, готовятся к транспортировке до места захоронения. Данный массив называют «хвостами» линии, и, в конечном итоге, его отправляют под пресс, чтобы в спрессованном виде загрузить в автопоезд. За этот этап непосредственно отвечает мусороперегрузочная станция. Ее основная функция – уменьшение объема перевозимого мусора и, как следствие, сокращение транспортных затрат при утилизации.

Мощность станции позволяет спрессовать в один бункер до 18 тонн отходов, что равно шести большим мусоровозам, которые будут перевезены за один рейс.

**Заключение.** Проведённый анализ указывает на очевидную перспективность внедрения технологии предварительной перегрузки ТКО на территории городских агломераций ДНР. Дальнейшим направлением исследований авторов станет изучение морфологического состава ТКО крупных населённых пунктов ДНР как базового показателя определяющего основные технико-экономические показатели технологии по использованию МПС в коммунальных процессах.

### Список литературы

1. Половян А. В. Экономика Донецкой Народной Республики, состояние, проблемы, пути решения / А. В. Половян, Р. Н. Лепа. – Донецк: ДИЭИ, 2017. – 59 с.
2. Калинихин О. Н. Природоохранное обоснование ресурсосберегающей технологии совместной переработки компонентов твёрдых бытовых отходов и отходов коксохимических предприятий / О. Н. Калинихин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика, Пермь: – 2019. – № 2. – С. 22-34. – DOI: 10.15593/2409-5125/2019.02.01
3. Chandrappa R., Das D.B. Solid Waste management, Environmental Science and Engineering. London: Springer Heidelberg, 2015 – 414 p. DOI: 10.1007/978-3-642-28681-0
4. Вайсман Я. И. Ретроспективный анализ и перспективы развития термических методов обезвреживания и утилизации твёрдых бытовых отходов / Я. И. Вайсман // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика, Пермь: – 2015. – № 1. – С. 6-23. DOI: 10.15593/2409-85125/2015.01.01

## **ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЕ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КАК НЕОБХОДИМЫЙ ФАКТОР СОХРАНЕНИЯ ЖИЗНИ И ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ**

*Кандаева И.В., Тарасенко В.А.*, канд. техн. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*irina.kandaeva@gmail.com, oktv7@mail.ru*

**Введение.** Одна из важнейших задач Донецкой Народной Республики – создание безопасных и безвредных условий трудовой деятельности граждан, охрана их жизни и здоровья.

Угольная промышленность, являясь одной из отраслей горнодобывающей промышленности, обеспечивает топливом и энергией значительную часть отраслей народного хозяйства. Добыча угля осуществляется подземным или открытым способами.

Шахта по добыче угля представляет собой сложнейшую природно-техногенную систему и относится к опасным производственным объектам, в которых идут взаимосвязанные горно-геологические, физико-химические, аэрологические, технологические, производственные и социальные процессы, способные привести к личной травме, групповому несчастному случаю, аварии с катастрофическими последствиями.

**Основная часть.** В настоящее время в Донецкой Народной Республике осуществляют деятельность пять государственных предприятий («Донецкая угольная энергетическая компания», «Макеевуголь», «Торезантрацит», «Шахта Комсомолец Донбасса» и «Шахта им. А.Ф. Засядько») и одного частного – ПАО «Шахтоуправление «Донбасс». Работа этих предприятий немыслима без решения актуальных задач в области охраны труда.

Угольная промышленность является отраслью с наиболее тяжелыми, вредными и опасными условиями труда. Одним из таких факторов является угольная и углепородная пыль. Свидетельством этого является статистика о профессиональных заболеваниях шахтеров, вызванных угольной пылью, а также последствий внезапных взрывов пылеметановых смесей. В структуре профессиональной заболеваемости шахтеров по диагнозам одно из первых мест занимают заболевания, вызванные влиянием промышленных аэрозолей.

Профессиональным заболеванием называется заболевание, вызванное постоянным влиянием неблагоприятных условий труда на здоровье работников. В угольной промышленности – это контакт с угольно-породной пылью и изменение газового состава воздуха.

Воздействие на организм высокой концентрации пыли приводит к развитию профессиональных заболеваний, как хронические заболевания

лёгких и верхних дыхательных путей, поэтому необходимо уделять большое внимание решению такой проблемы за счет повышения эффективности пылеподавления в зоне работы забойного оборудования и оросительных систем шахты в целом.

Борьба с угольной пылью на современных горных предприятиях должна проводиться по следующим направлениям: предупреждение и значительное уменьшение пылеобразования во время технологических работ; подавление пыли уже взвешенной в воздухе; обезвреживание пыли для предотвращения опасности взрыва [1, 2].

Совершенствование технологии механизации добычи полезного ископаемого в Донецком угольном бассейне также приводит к снижению пылеобразования за счет использования рациональных средств механизации [3-5]. При этом повышается производительность по добыче, сортность угля, снижаются удельные энергозатраты, переизмельчение угля и, как следствие, снижение пылевыделения в рабочей зоне очистной машины.

К наиболее эффективным способам борьбы с угольной пылью относятся совершенствование технологии выемки угля, совершенствование забойного и транспортного оборудования, которые бы обеспечивали минимальное пылеобразование и имели эффективные средства пылеподавления или обеспечивали нахождение, обслуживающего технику и забой, персонала на входящей струе или в зоне, полностью изолированной от пыли, например, при безлюдной выемке полезного ископаемого.

С точки зрения охраны труда и обеспечения выполнения санитарных норм ведение безлюдных горных работ является прогрессивным способом добычи полезного ископаемого. Благодаря дистанционному управлению горной машиной машинист находится на свежей струе воздуха до очистного или проходческого забоя и не попадает под вредное воздействие пыли.

Одним из способов решения данной проблемы является применение гидравлической технологии добычи и транспортирования угля с использованием гидромониторов и трубопроводного транспорта. При гидравлическом технологическом способе добычи полезного ископаемого устраняется основной вредный для здоровья горнорабочих и опасный с позиции возможности взрыва угольной пылевоздушной смеси фактор. Такой способ ведения горных работ применялся и применяется на шахтах Донбасса.

Технология беспыльного резания угольных пластов водяными струями подразумевает использование гидромониторов, вода из которых подается в зону резания под давлением 200–500 атм. Также разработана конструкция проходческой машины, использующей в качестве источника энергии для разрушения породного забоя воды под высоким давлением. Все рабочие операции такого агрегата выполняются без пылевыделения в окружающую среду.

Однако применение такой технологии сопряжено с возникновением новых вредных производственных факторов. Например, переохлаждение

организма рабочих гидродобычи в зимний период в связи повышенным содержанием влаги в воздухе и промоканием одежды.

Важно не только защитить работников от воздействия угольной пыли, но и предотвратить возможность взрыва, который несёт опасность жизни шахтеров. Угроза взрыва угольной пыли является одной из самых больших в добыче каменного угля, поэтому в нынешнее время увеличения интенсивности горных работ мы должны ответственно и осознанно бороться с ней.

Меры борьбы с пылью в шахтах по добыче угля должны проводиться в соответствии нормативно-правовыми и санитарно-эпидемиологическими нормами: уменьшение пылеобразования, подавление пыли, взвешенной в воздухе, обезвреживание пыли в отношении опасности взрыва.

Неадекватная профилактика может привести к взрыву угольной пыли и, в худшем случае, к травмированию или гибели шахтёров и разрушению горных машин и механизмов. «Чтобы угольная пыль представляла опасность взрыва, должны присутствовать следующие факторы:

– во-первых, она должна содержать более 10 % летучих компонентов в пересчёте на безводную и беззольную углеродистую основу;

– во-вторых, должна создаваться смесь угольной пыли и воздуха в диапазоне от 50 до 1000 г/м<sup>3</sup>, с оптимальными условиями для взрыва, происходящего при концентрации 300–500 г/м<sup>3</sup> [1, 2].

Эффективность проведения противопоылевых мероприятий с использованием смачивателя должна оцениваться комплексно: не только по величине, на которую снизился уровень запыленности, но и объему затраченных средств с учетом физиологической безвредности применяемого состава для работников и его экологического воздействия [1, 2].

Система управления охраной труда и система управления промышленной безопасностью рассматриваются как единый комплекс мероприятий и средств, которые предназначены для сохранения жизни и здоровья работников, предупреждения аварий и их последствий.

К также ней относятся разработка методов прогнозирования и оценки опасности, средств повышения уровня охраны труда и промышленной безопасности за счет управления профессиональными рисками и специальной оценкой условий труда работников и эксплуатации угольной шахты на основе систем и методов мониторинга и прогнозирования опасных и вредных производственных факторов, параметров природной и техногенной сред и применения средств коллективной и индивидуальной защиты.

**Заключение.** Опасность шахтерского труда, высокий уровень профессиональных заболеваний, обуславливает необходимость проведения эффективных мер в области соблюдения мер безопасности и охраны труда.

Так для снижения воздействия на организм высокой концентрации пыли, которая приводит к возникновению и развитию заболевания лёгких и верхних дыхательных путей, необходимо осуществлять комплекс мер технического, технологического и организационного порядка.

В первую очередь проектирование горных машин с эффективными средствами пылеподавления. Этого можно достичь путем организации подачи воды в зону формирования пылевого ядра при резании углей или пород [6]. Вторым этапом защиты от пыли может служить организация орошения вокруг рабочего органа. Третьим этапом защиты от пыли могут быть технические средства и оросительные системы шахты, расположенные в выработках на исходящей струе и осуществляющие подавление взвешенной в воздухе пыли и её обезвреживание для предотвращения взрыва.

### Список литературы

1. Петрухин М. П. Борьба с угольной пылью в шахтах / М. П. Петрухин, Г. С. Гродель, Н. И. Шеляев. – М. : Недра, 1981. – 271 с.
2. Бабенко А. Г. Теоретическое обоснование и методология повышения уровня охраны труда в угольных шахтах на основе риск-ориентированного подхода и многофункциональных систем безопасности / Бабенко Александр Григорьевич; дис. ... докт. тех. наук : 05.26.01. – Екатеринбург, 2016. – 259 с.
3. Выбор средств механизации очистного забоя для условий эксплуатации в шахте «им. С.М. Кирова» / Тарасенко В. А. Ляховченко Ю. В. // Механика жидкости и газа: Материалы VII Международной научно-технической студенческой конференции. – Донецк : ДонНТУ, 2008. – С 197-200.
4. Анализ средств механизации очистного забоя в условиях шахты «им. А.Ф. Засядько» / Гончаренко М. Е., Тарасенко В. А. // Механика жидкости и газа: Материалы XII Международной научно-технической студенческой конференции. – Донецк : ДонНТУ, 2013. – С 29-32.
5. Анализ средств механизации очистного забоя в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» / Петрушин А. А., Тарасенко В. А. // Технологические машины и оборудование: материалы XVII Республиканской научно-технической студенческой конференции, 27- 29 ноября 2018г., г. Донецк. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – С. 92-96.
6. Разработка конструкции шнекового исполнительного органа комбайна КДК500 / Пивненко Д. С., Тарасенко В. А. // Технологические машины и оборудование: материалы XVII Республиканской научно-технической студенческой конференции, 27-29 ноября 2018г., Донецк – Донецк : ДонНТУ, 2018. – С. 113-116.

## ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ – ВРЕМЯ ИННОВАЦИЙ

*Кишкань Р.В., Шатохин П.А.*

Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам  
при Главе Донецкой Народной Республики, г. Донецк, ДНР  
*office@gkecopoldnr.ru*

Ежегодно человечество потребляет большое количество различных товаров. При этом, на всех этапах «жизни» этих товаров (добыча сырья, производство, использование, утрата потребительских свойств) образуется огромное количество отходов, которые, по большей части, размещаются в окружающей среде. В результате таких действий значительные территории на планете занимают под размещение отходов, которые при этом загрязняют окружающую среду (почву, воздух, поверхностные и подземные воды). Вопрос обращения с отходами является одним из самых актуальных вопросов в мире. От его решения зависит доступность чистого воздуха, воды и почвы, которые необходимы не только для комфортной жизни, но и просто для выживания человечества.

В Донецкой Народной Республике сложилась сложная ситуация в сфере обращения с отходами производства и потребления. Так, согласно статистическим данным за 2020 год, в Республике образовалось 5130,910 тыс. т. отходов производства и потребления (без учета отходов от населения), из которых утилизировано всего 7,2 %, остальные отходы размещены на полигонах и свалках Донецкой Народной Республики [1].

Из общего количества образованных отходов большая часть (99,96 %) – это малоопасные отходы IV класса опасности, из которых, в свою очередь, 4 669,219 тыс. т. (91 %) – промышленные отходы добычи и переработки полезных ископаемых и отходы металлургического производства. На полигонах твердых бытовых (коммунальных) отходов размещено 831,587 тыс. т. коммунальных отходов.

Существующая устаревшая система обращения с отходами привела к тому, что практически все коммунальные отходы, а также часть отходов производства захораниваются на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов, что влечет за собой быстрое заполнение этих полигонов. Так, из существующих 23 полигонов ТКО почти треть (7 полигонов) находится на уровне заполнения от 80 % до 103 %, что потребует в ближайшее время прекращения их эксплуатации, и решения вопроса расширения территорий существующих полигонов или строительства новых полигонов для размещения коммунальных отходов. Однако без изменения системы обращения с отходами вопрос быстрого заполнения полигонов не решится.

Кроме того, существующая система смешанного сбора и удаления коммунальных отходов приводит к захоронению на полигонах ТКО ресурсоценных отходов, содержащих полезные компоненты, которые могут быть повторно вовлечены в хозяйственный оборот, а также опасных отходов (батарейки, ртутьсодержащие и медицинские отходы, и пр.).

Ситуация в сфере обращения с отходами I-III классов опасности также является сложной. Обезвреживание и утилизация образованных отходов I класса опасности не производится вообще, из отходов II и III класса опасности утилизируется только половина (отработанные масла металлолом). Такая ситуация связана с отсутствием в Республике промышленных мощностей по утилизации и обезвреживанию большей части отходов I-III классов опасности. Как следствие, на территории Республики накоплено 42,413 тыс. т. отходов I-III классов опасности, неправильное обращение с которыми может привести к крайне негативным экологическим последствиям, вплоть до экологической катастрофы локального масштаба.

Существующая в Республике, морально и технически устаревшая, система обращения с отходами производства и потребления требует безотлагательных изменений, с применением инновационных для Республики идей.

С целью изменения существующей системы обращения с отходами, в части обращения с ТКО, необходимо внедрение системы раздельного сбора ТКО, что позволит уменьшить количество отходов, которые подлежат размещению на полигонах ТКО, получить дополнительные объемы вторичного сырья для дальнейшего использования в целях экономии энергетических и материальных ресурсов, а также выделить опасные отходы из состава коммунальных. Целесообразно принять двухконтейнерную систему раздельного сбора отходов, по опыту и примеру Российской Федерации [2], с использованием контейнеров синего цвета для сбора пластика, бумаги, стекла, металла и текстиля, а также контейнер серого цвета для сбора смешанных отходов.

С целью оптимизации логистических процессов необходимо структурирование территории Республики на кластеры (зоны, регионы), с организацией в них обособленных систем обращения с отходами, включающими региональные полигоны (как новые, так и на базе существующих полигонов ТКО) и мусороперегрузочные станции с линиями по раздельному сбору вторичных ресурсов [3].

Для целью развития сферы обращения с промышленными отходами необходимо:

– создание экономико-правовых условий для работы предприятий, производящих продукцию с использованием отходов и осуществляющих деятельность по обезвреживанию и утилизации отходов I-III классов опасности;

– внедрение новых форм хозяйствования и научно-технической деятельности в сфере обращения с отходами (технопарки, инновационно-технологические центры, биржи отходов и др.);

– внедрение технологий использования отходов угледобывающих, углеперерабатывающих и металлургических предприятий в качестве сырья для строительных материалов и дополнительных топливных ресурсов;

Вышеуказанные организационно-технические мероприятия были предложены в Концепции обращения с отходами производства и потребления в Донецкой Народной Республике [4], определяющей комплексный подход к решению проблем в сфере организации обращения с отходами в Республике, направленный на создание экологически безопасной системы управления отходами производства и потребления.

Для более эффективного управления в вопросах обращения с отходами, Концепцией также предложено:

– создание Государственного Концерна по обращению с твердыми коммунальными отходами;

– зонирование территории Республики на Горловскую, Ясиноватскую, Харцызскую и Южную группы;

– создание при Министерстве промышленности и торговли Донецкой Народной Республики координационного структурного подразделения и Государственного предприятия по обращению с промышленными и опасными отходами.

Несмотря на всю сложность реформирования отрасли обращения с отходами и внедрения инновационных решений для разрешения проблемных вопросов, выполнение предложенных мероприятий позволит обеспечить экологически безопасное обращение со всеми отходами на территории Республики и сделать связку «отход-сырье-продукция» неотъемлемой частью экономической политики Республики.

### **Список литературы**

1. Данные статистической формы отчетности № 1-отходы (годовая) «Отчет об обращении с отходами производства и потребления» за 2020 год.
2. Все о раздельном сборе отходов: ответы на самые популярные вопросы москвичей: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mos.ru/news/item/70528073/> – Заголовок с экрана
3. Проект Регионального стратегического плана управления твердыми бытовыми отходами в Донецкой области 2004-2009: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekopro.biz/04070102R.pdf>. – Заголовок с экрана
4. Концепция обращения с отходами производства и потребления в Донецкой Народной Республике: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gkecopoldnr.ru/25/08/2021/attention/> – Заголовок с экрана.

## КЕРАМИКА С ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ КАК ФИЛЬТРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД

*Прилипко С.Ю.*, канд. техн. наук, *Кудрявцев Ю.А.*, *Брюханова И.И.*,  
*Головань Г.Н.*, *Глазунова В.А.*, *Бурховецкий В.В.*

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
*suprilipko@mail.ru*

**Введение.** Преимущества керамических фильтров из оксида алюминия заключаются в исключительной химической стойкости, благодаря которой их можно использовать при фильтрации отходов производств, а также термической стойкости, позволяющей проводить регенерацию при помощи термической обработки. При этом оксид алюминия является одним из самых дешевых материалов для получения керамики.

Наиболее распространенным способом получения пористых материалов считается создание составов с летучими либо выгорающими компонентами с последующим их термическим удалением и образованием пустот на их месте. Такой подход не лишен недостатков. В частности, структура керамики, остающаяся после удаления летучих компонентов становится непрочной вследствие неравномерного распределения пор и образования крупных пустот.

**Основная часть.** В данной работе приведены результаты исследования пористой керамики с равномерным распределением пор субмикронного размера, пригодной для применения в качестве фильтров (рис. 1).

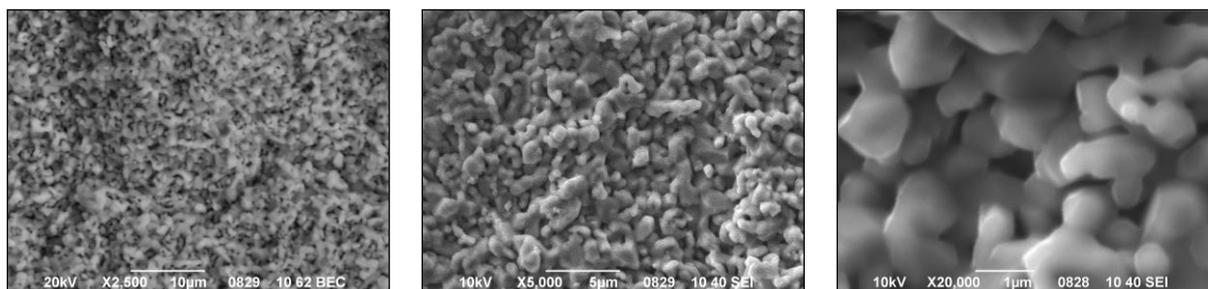


Рис. 1. Структура полученного высокопористого (пористость 60 %) керамического образца  $Al_2O_3$  при различном увеличении микроскопа

Для получения из нанопорошка оксида алюминия фильтрующей керамики, решалась проблема растрескивания при их спекании, что связано с изменением удельного объема при переходе из  $\gamma$ - в  $\alpha$ -модификацию  $Al_2O_3$  [1, 2]. Поставленные задачи достигнуты благодаря оптимизации параметров получения нанопорошков оксида алюминия, и

исследованию формирования микроструктуры керамики, при их спекании. С этой целью был исследован комплекс проблем: зависимость температуры фазового перехода в зависимости от способа получения  $Al_2O_3$  и размера частиц, пониженной температуры спекания наночастиц, а также их склонности к образованию прочных агрегатов.

Для измерения фильтрующей способности полученной керамики применялась суспензия дезагрегированного нанопорошка углерода с минимальным размером частиц 50 нм в воде (рис. 2). Аналогичные исследования были проведены для пробы шахтной воды, состав которой приведен на рис. 3.

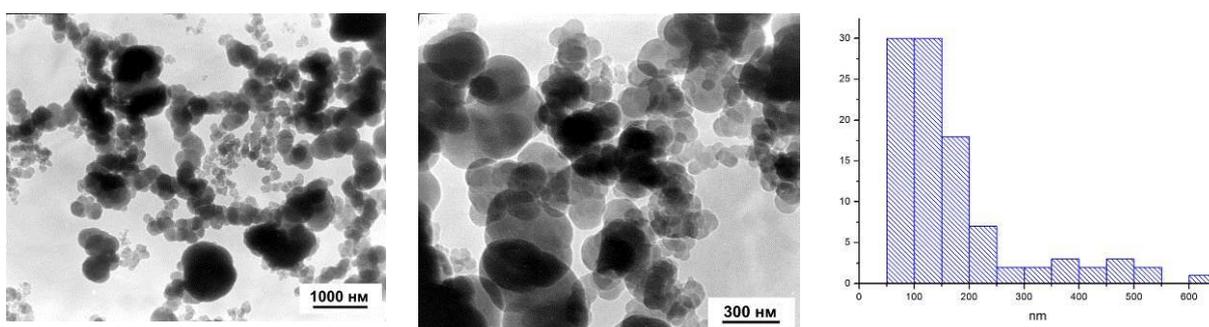


Рис. 2. Дисперсный состав углеродных наночастиц

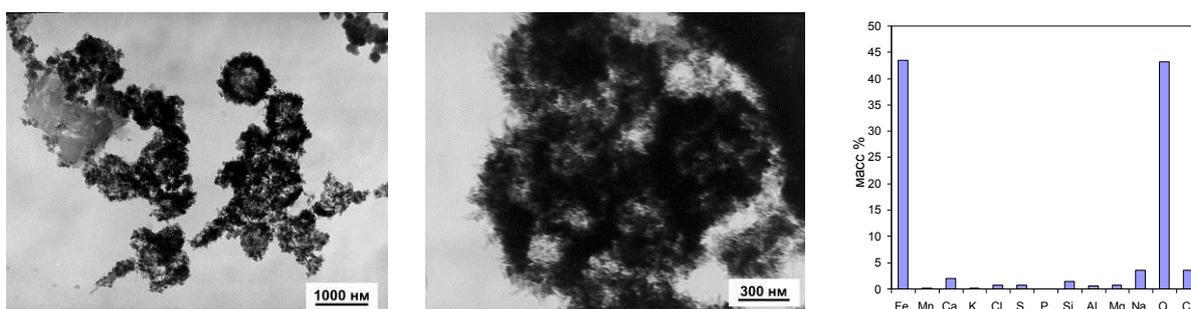


Рис. 3. Состав шахтной воды

В обоих случаях после фильтрования вода стала прозрачной и бесцветной. Успешно отделены все твердые частицы, в том числе размером менее 50 нм. Очистка фильтра, применявшегося для отделения углеродных наночастиц проводилась прокаливанием при  $1000^{\circ}C$ . Фильтр, использовавшийся для очистки шахтной воды, помещался в раствор лимонной кислоты для удаления солей металлов. После таких видов обработки обе керамические пластины стали пригодны для повторного использования.

Как видно из графика (рис. 4), скорость фильтрования почти линейно растет с повышением давления воды, что с учетом высокой прочности керамических фильтров (до 50 МПа при испытаниях на четырехточечный изгиб) дает возможность многократно повышать их производительность по сравнению с фильтрованием без давления (табл.).

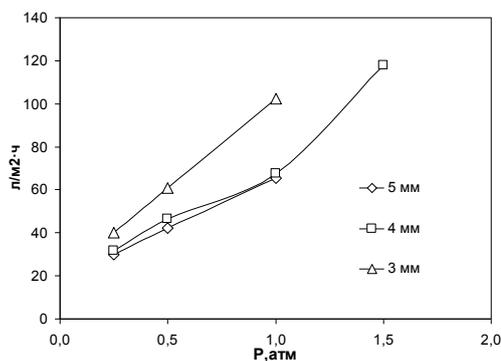


Рис. 4. Производительность керамических фильтров различной толщины в зависимости от создаваемого давления. Пористость керамики 60%, температура воды 20°C

Таблица

Фильтрующая способность пористой керамики. Среда – дистиллированная вода, температура 20 °С, высота столбика 1 м

Пористость, %	Толщина, мм	Скорость фильтрования, л/м <sup>2</sup> ·ч
45	3	5
60	3	9
70	6	15

**Заключение.** Разработана методика получения керамики с равномерным распределением пор. Структура материала позволяет фильтровать суспензии, в том числе с размером твердых частиц 50 нм.

При этом эти керамические фильтры обладают рядом преимуществ: низкой стоимостью сырья, высокой химической стойкостью (не подвержены коррозии, устойчивы к воздействиям кислотам и щелочей), термической стойкостью и, как следствие, возможностью многократной термической или химической регенерации фильтрующего материала.

#### Список литературы

1. Al'myasheva O. V. Preparation of Nanocrystalline Alumina under Hydrothermal Conditions / O. V. Al'myasheva, E. N. Korytkova, A. V. Maslov and V. V. Gusarov // Inorganic Materials. – 2005. – V. 41, № 5. – P. 460–467.
2. Chang P.-L. Size effects on  $\gamma$ - to  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phase transformation / P.-L. Chang, Yu-Chun Wu, Ssu-Jung Lai, Fu-Su Yen // J. Eur. Ceram. Soc. – 2009. – V. 29. – P. 3341–3348.

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ И РЕЦИКЛИНГА ТЕХНИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЗА РУБЕЖОМ**

*Тишанинов И.А., Баулин Н.К.*

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, РФ  
*tishaninov@yandex.ru, 020bnk@gmail.com*

**Введение.** Проблема утилизации и рециклинга отходов является актуальным и крайне востребованным направлением для Российской Федерации в сфере сервиса АПК.

В период, когда сельское хозяйство СССР являлось важным направлением народного хозяйства, вопросы ресурсосбережения и экологии в входили в число приоритетных направлений технико-экономической политики страны. В СССР к началу 90-х гг. прошлого века, была сформирована и отточена единая система управления контроля за отходами производства и потребления, которая обеспечивала эффективное функционирование утилизации технических отходов. Такая система включала в себя государственное регулирование, планирование и организацию раздельного экологически безопасного сбора отходов для населения, транспортировку, подготовку, переработку и использование вторичных ресурсов в промышленном производстве (рециклинг), разработку стандартов, норм и правил в сфере переработки отходов, обучение профессиональных и технически образованных специалистов.

**Основная часть.** Разработка и внедрение систем утилизации оборудования всех типов стала приоритетной задачей для всех инженерных служб и отраслей, которая успешно решена в технически развитых странах. Вопросы и проблемы, поставленные перед потребителями сельхоз и спецтехники уже находят своё решение в рамках программы Индустрия 4.0, которая с помощью современных технологий должна помочь всему мировому научному сообществу [1,2].

Следует отметить, что у разных видов оборудования есть свои технические особенности, которыми нельзя пренебрегать. Такие особенности требуют использования различных технологий, а именно разработки специальных систем для использования разных типов оборудования [3]. Сегодня машиностроительная отрасль настолько развита, что на данный момент в мире насчитывается 1 миллиард 70 миллионов автомобилей. В России – более 52 миллионов. При среднем значении вывода из эксплуатации 3 ... 6 % автомобилей годовая потребность в их утилизации колеблется от 1,35 до 2,3 млн единиц [3].

В таблице показана тенденция развития количества транспортных машин.

Таблица

Статистика количества автомобильной техники России (на начало года, тыс. ед.)

Вид транспорта	2006	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017
Грузовые автомобили	4401	4848	5414	5545	5751	6060	6238	6239
Находящиеся в собственности граждан	1568	2310	2950	3097	3281	3547	3777	3790
Автобусы	643	792	875	902	928	891	883	880
находящиеся в собственности граждан	186	333	428	442	459	441	443	439
Легковые автомобили	20353	25570	34354	35415	38792	41428	43417	44253
находящиеся в собственности граждан	19097	24125	32629	34624	36917	39243	41433	42316

Как видно из таблицы, количество некоторых видов транспорта сокращается, несмотря на пополнение парка машин, т.е. большее количество оборудования уже выведено из эксплуатации и требует утилизации. Для обеспечения эффективной, экологически чистой и ресурсосберегающей утилизации технического оборудования и транспорта необходимо разработать и применить специальные технологии для каждого типа, т.е. создать для них особые системы утилизации на федеральном уровне [4].

**Заключение.** В настоящее время, в основе общей идеи формирования системы правильного обращения с отходами лежат устаревшие технологии и понятия систем утилизации, исторически сложившаяся еще в середине прошлого века. Имеющиеся в настоящее время теоретические работы в области использования высокоэнергетического оборудования касаются в основном решения локальных задач для колесных и самоходных транспортных средств.

Одним из эффективных решений для изменения сложившейся ситуации является разработка и внедрение отраслевой системы в агропромышленном комплексе Российской Федерации. Однако эффективность и осуществимость этого решения требует теоретического обоснования с учетом конкретных поставленных задач.

### Список литературы

1. Белова Л. Г. Индустрия 4.0: возможности и вызовы для мировой экономики / Л. Г. Белова, О. М. Вихорева, С. Б. Карловская // Вестник Московского университета. Серия 6. – 2018. – № 3. – С. 167-183.
2. Дадаев Я. Э. Перспективы и угрозы четвертой промышленной революции и их учёт при выборе направлений инновационного роста / Я. Э. Дадаев, С. Д. Хажмурадова // Общество, экономика, управление. – 2019. – Т. 4. № 4. – С. 40-47.
3. Кадышева О. В. Невозобновляемые природные ресурсы: теория рынка / О. В. Кадышева // Финансы: теория и практика. – 2008. – № 1 (45). – С. 160-169.
4. Чеботарев М. И. Проблемы и перспективы развития технического сервиса АПК / М. И. Чеботарев, И. Г. Савин // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – № 97. – С. 564-592.
5. Игнатов В. И. Современные тенденции формирования системы рециклинга техники / В. И. Игнатов, А. С. Дорохов, Ю. В. Трофименко: под общей ред. В. И. Игнатова. – М., 2019. – 557 с.

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ, КЛИМАТИЧЕСКОЙ, ТЕХНОСФЕРНОЙ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОНБАССА

*Шеставин Н.С.*, канд. техн. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*n.shestavin@mail.ru*

**Введение.** В Указе Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. № 400 [1] с учетом долгосрочных тенденций развития ситуации в Российской Федерации (РФ) и в мире указано на новый национальный интерес на современном этапе: «... охрана окружающей среды, сохранение природных ресурсов и рациональное природопользование, адаптация к изменениям климата», а также определено, что «... достижение целей обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования осуществляется путем реализации государственной политики, направленной на решение... задач», в том числе «... развитие системы государственного экологического мониторинга..., повышение эффективности прогнозирования опасных природных явлений и процессов, последствий влияния изменений климата».

В Донецкой Народной Республике (ДНР) Постановлением Правительства ДНР в 2020 году принят порядок организации и осуществления государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга) [2], где «объектами государственного мониторинга окружающей среды являются атмосферный воздух, почвы, поверхностные и подземные воды, внутренние морские воды, растительный и животный мир, гидробиологические ресурсы, геологическая среда, особо охраняемые природные территории, объекты антропогенного происхождения, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду».

На основе этих нормативно-правовых актов в ДНР начаты работы по формированию цифровой платформы спутникового мониторинга экологической, климатической, техносферной и продовольственной безопасности Донбасса как наиболее эффективной, доступной и конкурентной среды [3] для обеспечения органов государственного управления ДНР необходимой информацией для принятия решений в сферах экологической политики, охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур в Донбассе.

**Основная часть.** Актуальность решения научно-технических задач цифровизации органов государственного управления ДНР посредством использования спутникового мониторинга в экологической сфере, в зонах

опасных климатических явлений, в области техносферной безопасности, а также в районах ведения сельскохозяйственных работ, в настоящее время обуславливается ограниченностью финансовых и материальных ресурсов для восстановления и развития системы аналитического контроля природных и антропогенных процессов. Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) по договору о сотрудничестве предоставляет Донецкому национальному университету (ДонНУ) свободный доступ к системам Интернет-сервиса «VEGA-Science» [4] с архивным и текущим спутниковым данным по территориям Донбасса, что информационно обеспечит реализацию региональной цифровой платформы спутникового мониторинга, которая состоит из трех сегментов: внешних источников информации (РЕСУРСЫ), внутренних аппаратно-программных структур ДонНУ (ИСПОЛНИТЕЛЬ) и аппаратно-программных структур органов государственного управления ДНР (ЗАКАЗЧИКИ).

Сегмент РЕСУРСЫ состоит из сетевого доступа к ресурсам ИКИ РАН, а также к другим источникам спутниковых данных как российских, так и зарубежных, которые предоставляют открытый доступ к своим Интернет-сервисам с первичными и/или обработанными спутниковыми снимками. К таким источникам можно отнести Европейское космическое агентство (ESA), Европейскую службу мониторинга атмосферы (Copernicus), Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA), Национальный центр по борьбе с засухой Университета Небраски-Линкольна (NASA Grace) и др.

Сегмент ИСПОЛНИТЕЛЬ содержит имеющиеся в ДонНУ аппаратно-программные мощности и разрабатываемые программные продукты для сбора, обработки, архивации, хранения и передачи заказчикам спутниковых данных в удобном для них виде (цветные графики и диаграммы, анимации из спутниковых снимков с отражением динамики процессов, инструкции, рекомендации, комментарии и т.п.).

Сегмент ЗАКАЗЧИКИ в настоящее время охватывает следующие органы государственного управления ДНР, которые заинтересованы в регулярном получении текущей и прогнозной информации:

- Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе ДНР, которому необходима информация о загрязнениях атмосферного воздуха и поверхностных водных ресурсов, состоянии лесной и степной растительности, деградации и засолении почвы, распределении подземных вод и горных пород, последствиях глобального изменения климата и т.п. [5];

- Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий ДНР, которому нужна климатическая информация [6], сведения о природных и техногенных пожарах, оценки смещения поверхности и строений по геологи-

ческим и техногенным причинам, а также сообщения о других чрезвычайных ситуациях и стихийных бедствиях [7];

- Министерство агропромышленной политики и продовольствия ДНР, которому необходимы значения вегетационных индексов сельскохозяйственных полей, показатели влажности почвы в поверхностном слое и в корневой зоне, величины накопленной за сезон влажности и температура и др. [8].

Сейчас выполняются работы по накоплению спутниковых данных из открытых источников по запросам заинтересованных заказчиков, а также разрабатываются программные продукты для сбора, обработки, архивации, хранения и передачи этих данных.

**Заключение.** В 2022 году планируется разработать и внедрить все элементы трех сегментов этой цифровой платформы, что обеспечит повышение оперативности и качества информационного обеспечения органов государственного управления ДНР.

### Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». – Москва. – 2021. – 44 с.
2. Постановление Правительства Донецкой Народной Республики от 30 апреля 2020 г. № 22-8 «Об утверждении Порядка организации и осуществления государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга)». – Донецк. – 2020. – 6 с.
3. Регулирование цифровых платформ – обеспечение конкуренции при сохранении стимулов для развития // Бюллетень о развитии конкуренции. – Москва: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – 2020. – № 32. – 20 с.
4. Лупян Е. А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») / Е. А. Лупян, А. А. Прошин, М. А. Бурцев и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 151-170.
5. Молев М. Д. Экологическая безопасность угледобывающих регионов: монография / М. Д. Молев, С. А. Масленников, И. А. Занина. – Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ. – 2018. – 115 с.
6. Яковлева Е. Н. Климатическая безопасность Российской Федерации: статистика, факты, анализ / Е. Н. Яковлева, Н. Н. Яшалова, В. С. Васильцов // Вопросы статистики. – 2020. – № 27(2). – С. 74-84.
7. Илиев А. Г. Управление техносферной безопасностью: учеб. пособие / А. Г. Илиев, М. Д. Молев. – Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ. – 2019. – 81 с.
8. Беликова М. П. Методика и система показателей комплексного информационно-статистического анализа продовольственной безопасности / М. П. Беликова, М. В. Богданова // Правовая информатика. – 2019. – № 4. – С. 63-74.

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДУКТОВ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЦИНКОВОЙ ИЗГАРИ

*Щепина Н.Д.*<sup>1</sup>, канд. хим. наук, доц., *Рублева Л.И.*<sup>2</sup>, канд. хим. наук, доц., *Громенко В.О.*<sup>3</sup>, *Капитанчук Е.Ю.*<sup>3</sup>, *Удодов И.А.*<sup>3</sup>, канд. хим. наук, доц.

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

<sup>3</sup>ГУ «НИИ «Реактивэлектрон», г. Донецк, ДНР

*shnatalina@mail.ru*

**Введение.** Разработка малоотходных наукоемких технологий получения жидких хелатных цинксодержащих микроудобрений из цинковой изгари с использованием этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) является одним из эффективных способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур и обеспечения экологической безопасности линий горячего цинкования на промышленных предприятиях Донецкой Народной Республики [1, 2].

**Основная часть.** Ранее нами был разработан технологический метод получения монохелата цинка путём утилизации цинковой изгари. В основу технологии положен известный метод растворения цинковой изгари в разбавленной азотной кислоте (10-15 %), при котором основными продуктами восстановления  $\text{HNO}_3$  являются  $\text{N}_2$  и  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  [1, 2].

Основными полупродуктами переработки цинковой изгари при растворении в азотной кислоте являются раствор нитрата цинка ( $\text{C}(\text{Zn})=60-70 \text{ г/л}$ ) и плохо растворимый твёрдый осадок, масса которого составляет 10-15 % от исходного сырья. Раствор нитрата цинка может быть использован либо для получения монохелата цинка ( $\text{C}(\text{Zn})=35\pm 2 \text{ г/л}$ ), либо для получения жидких концентратов комплексных микроудобрений (ЖКМУ) с содержанием цинка 10-15 г/л.

В работах [3, 4] нами было показано, что практическое применение в микрополевых опытах микроудобрений, в состав которых входит монохелат цинка из цинковой изгари, при увеличении урожайности не приводит к накоплению свинца, кадмия и ртути ни в почве, ни в семенах подсолнечника и кукурузы. Нерешённой оставалась задача, которая связана с необходимостью утилизации вторичного отхода – твёрдого остатка после растворения цинковой изгари в азотной кислоте.

В таблице 1 для сравнения приведены данные о содержании Pb и Cd в наиболее часто используемых основных удобрениях (аммиачная селитра, суперфосфат простой и хлорид калия) и в разработанных нами ЖКМУ для подсолнечника и кукурузы. Средние нормы внесения основных удобрений в табл. 1 приведены по данным работ [5, 6].

Таблица 1

Содержание тяжёлых металлов в удобрениях и их внесение в почву  
в соответствии со средними нормами

Элемент	Pb	Cd
<i>ЖКМУ (кукуруза, подсолнечник)</i>		
Концентрация, мг/л	13,5	2,0
Внесение в почву на 1 га, мг (при средней норме 6 л/га)	81	12,3
<i>Аммиачная селитра</i>		
Концентрация, мг/кг	0,3	0,3
Внесение в почву на 1 га, мг (при средней норме 100 кг/га)	30	30
<i>Суперфосфат простой</i>		
Концентрация, мг/кг	12,5	3,5
Внесение в почву на 1 га, мг (при средней норме 75 кг/га)	937,5	262,5
<i>Хлорид калия</i>		
Концентрация, мг/кг	12,5	4,3
Внесение в почву на 1 га, мг (при средней норме 75 кг/га)	937,5	322,5

Сопоставляя данные, приведенные в таблице 1 можно заключить, что использование цинковой изгари для производства ЖКМУ с содержанием цинка 10-15 г/л является вполне допустимым [4].

Основными компонентами твёрдого остатка (более 90 %) после растворения цинковой изгари в азотной кислоте являются оксид цинка, твёрдые растворы в системе феррит цинка – магнетит и диоксид кремния (силикаты). Содержание примесей абиогенных элементов в твёрдом остатке определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (табл. 2).

Таблица 2

Содержание примесей биогенных и абиогенных элементов во вторичных отходах  
переработки цинковой изгари

Элемент	Pb	Cd	Hg
Содержание, %	<0,01	<1·10 <sup>-3</sup>	<1·10 <sup>-6</sup>

По химическому и фазовому составу данный вид отходов приближается к сырьевым компонентам железоокисных пигментов, которые используются для производства цветных строительных материалов и изделий – искусственный камень, тротуарная плитка, черепица и т.д. Анализ литературных данных по технологии утилизации промышленных отходов свидетельствует, что вторичные отходы переработки цинковой изгари возможно использовать также для производства пигментов на основе цветных титанатов [7].

**Заключение.** Таким образом, разработаны технологические методы комплексной переработки цинковой изгари. Показана экологическая

безопасность применения основных продуктов переработки цинковой изгари – цинксодержащих микроудобрений и цинк-железосодержащих пигментов для производства цветных строительных материалов.

### Список литературы

1. Громенко В. О. Технологические методы получения монохелатов цинка и железа из отходов промышленных линий горячего цинкования / В. О. Громенко [и др.] // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы V Междунар. научн. конф. (Донецк, 17-18 ноября 2020 г.). – Донецк: ДонНУ, 2020. – Т. 1: Физико-математические и технические науки. – С. 67-69.
2. Громенко В. О. Получение из техногенных отходов и эффективность применения цинк-молибденовых микроудобрений для предпосевной обработки семян кукурузы / В. О. Громенко [и др.] // Инновационные перспективы Донбасса: Перспективные направления развития экологии и химической технологии (Донецк, 24-26 мая 2021 г.). – Донецк: ДонНТУ, 2021. – Т. 4. – С. 6-10.
3. Кара А. В. Тяжёлые металлы в жидких концентратах монохелатов цинка и железа, полученных путём переработки техногенных отходов / А. В. Кара [и др.] // Инновационные перспективы Донбасса: Перспективные направления развития экологии и химической технологии (Донецк, 24-26 мая 2021 г.). – Донецк: ДонНТУ, 2021. – Т. 4. – С. 26-29.
4. Щепина Н. Д. Экологическая оценка применения микроудобрений при выращивании подсолнечника и кукурузы в почвенно-климатических условиях Донбасса / Н. Д. Щепина [и др.] // Промышленность и сельское хозяйство. – 2021. – № 6. – С. 21-28.
5. Дудина Н. Х. Агрохимия и система удобрения: учеб. для техн. / Н. Х. Дудина, Е. А. Панова, М. П. Петухов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 400 с.
6. Минеев В. Г. Агрохимия: учеб. для вузов / В. Г. Минеев – 3-е изд., перераб. и доп. – М: Изд-во МГУ, КолосС, 2004. – 720 с.
7. Бархатов В. И. Отходы производств и потребления – резерв строительных материалов: монография / В. И. Бархатов, И. П. Добровольский, Ю. Ш. Капкаев. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2017. – 477 с.

# *Теоретическая физика и нанотехнологии*

УДК 538.911

## **ОБРАЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ КОМПОНЕНТ В СТРУКТУРЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ YSZ**

*Беличко Д.Р., Константинова Т.Е., д-р физ.-мат. наук, проф.,  
Малецкий А.В., Волкова Г.К.*

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
*danil.belichko@yandex.ru*

Модернизация структуры керамики на основе диоксида циркония за счёт варьирования режимов её получения изучена в настоящий момент достаточно широко. Известно, что при изменении температуры спекания, скорости набора температуры спекания, а также давления предварительного компактирования можно получать различную зёрненную структуру, в том числе наноразмерную [1]. Также при использовании технологии «горячего прессования» возможно получение прозрачной керамики, которая может применяться в качестве линз, обладающих высокой термостойкостью и твердостью [2].

Улучшение свойств керамики на основе стабилизированного диоксида циркония возможно за счёт дополнительного легирования оксидами [3] и получения, так называемой, «гибридной керамики», т.е. материала, полученного за счёт химического взаимодействия различных компонентов формирующих определённую кристаллическую структуру, отличающуюся от структур исходных реагентов, и часто улучшающую функции исходных структур.

Целью настоящей работы является получение гибридной керамики на основе стабилизированного  $ZrO_2$ , дополнительно легированного оксидами кремния ( $SiO_2$ ) и алюминия ( $Al_2O_3$ ) и исследование свойств полученной керамики.

В данной работе исследовались нанопорошки состава  $ZrO_2+3\%mol.Y_2O_3$  (Z3Y), легированные 3,5,7,9 mol%  $SiO_2$  и 2 wp%  $Al_2O_3$  ( $Z3Y+n\ mol\%SiO_2+2wp\%Al_2O_3$ ) и керамика на их основе. Исследуемые порошки получали методом совместного химического осаждения из раствора солей при комнатной температуре и прокаливали при  $T=1000\ ^\circ C$  в течение 2 часов. Керамические образцы получали путём одноосного формования в стальных пресс-формах с последующим компактированием в условиях высокого гидростатического давления ( $BГД$ ) = 400МПа и спекали на воздухе при  $T=1500\ ^\circ C$ , 1 час.

Дифракционные картины исследованных порошков состава  $Z3Y+5mol\%SiO_2+2wp\%Al_2O_3$ , и  $Z3Y+9mol\%SiO_2+2wp\%Al_2O_3$  отожженных при температуре  $1000\ ^\circ C$ , приведены на рис. 1.

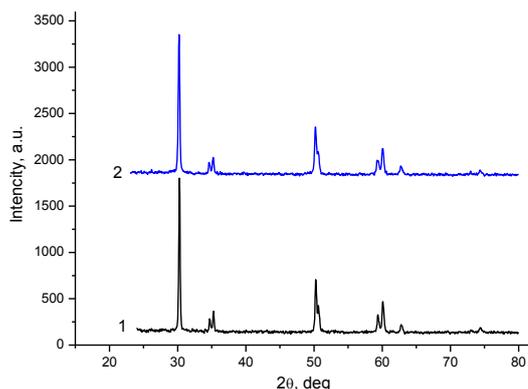


Рис. 1. Дифрактограммы порошков состава  $ZrY+5\text{mol}\%SiO_2+2\text{wp}\%Al_2O_3$ (1),  $ZrY+9\text{mol}\%SiO_2+2\text{wp}\%Al_2O_3$ (2)

Все исследованные порошки имели в своём составе 100 % тетрагонального диоксида циркония. Отмечено небольшое снижение размеров ОКР в порошках (до 26 нм).

Дифрактограммы спечённой керамики приведены на рис. 2.

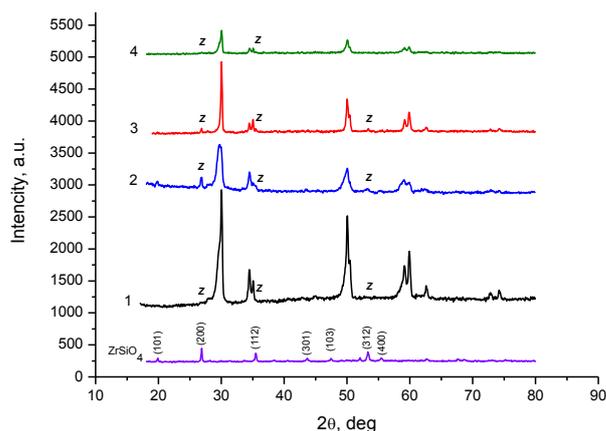


Рис. 2. Дифрактограммы керамики  $ZrY-SiO_2-Al_2O_3$ , где 1-  $ZrY+3\text{mol}\%SiO_2+2\text{wp}\%Al_2O_3$ , 2- $ZrY+5\text{mol}\%SiO_2+2\text{wp}\%Al_2O_3$ , 3- $ZrY+7\text{mol}\%SiO_2+2\text{wp}\%Al_2O_3$ , 4- $ZrY+9\text{mol}\%SiO_2+2\text{wp}\%Al_2O_3$

Во всех керамических образцах отмечено образование нового соединения в виде гибридной компоненты – ортосиликата циркония (циркон)  $ZrSiO_4$ . Количество циркона росло с увеличением оксида кремния в исходном сырье и максимальное его количество наблюдалось в образцах состава  $ZrY+9\text{mol}\%SiO_2+2\text{wp}\%Al_2O_3$  и составляло около 7 %.

Структура поверхности образца состава  $ZrY+5\text{mol}\%SiO_2+2\text{wp}\%Al_2O_3$  представлена на рис. 3. Из микрофотографии видно, что ортосиликат циркония образует на поверхности керамики включения. При этом размер тетрагональных зёрен диоксида циркония является субмикронным и составляет примерно 750 нм.

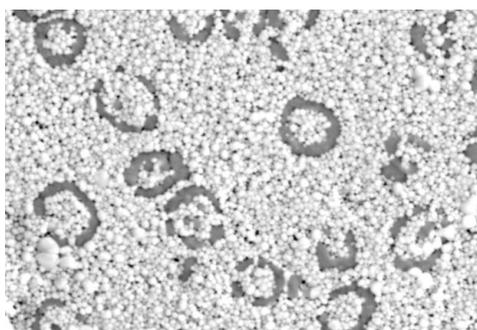


Рис. 3. Структура поверхности керамики состава  $ZrO_2+5\text{mol}\%SiO_2+2\text{wt}\%Al_2O_3$

Исследование физико-механических характеристик (модуль Юнга, твёрдость, прочность) показали, что их зависимости немонотонно возрастают с увеличением количества  $SiO_2$  в исходном сырье и максимальное значение свойств наблюдалось в образцах состава  $ZrO_2+5\text{mol}\%SiO_2+2\text{wt}\%Al_2O_3$ . При этом важно отметить существенный прирост значений указанных характеристик: максимальное значение модуля упругости составило 228 ГПа, Твёрдости по Виккерсу – 1273, прочности – 882 МПа, что в среднем, на 25 % больше не легированной керамики. Экстремальный характер зависимостей обусловлен двумя обратными процессами, происходящими при структурообразовании керамики: армирующее влияние циркона, и увеличение пористости с ростом количества гибридной компоненты в керамике.

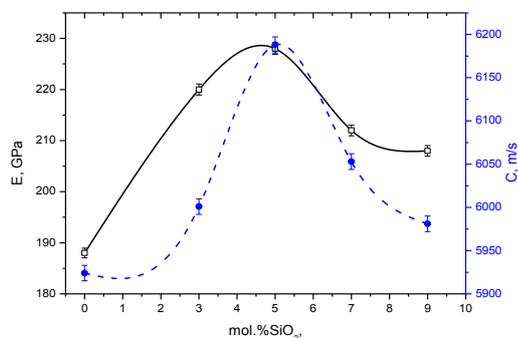


Рис. 4. Зависимость модуля Юнга(непрерывная) и скорости звука(прерывистая) в исследованных образцах

### Список литературы

1. Matthews F. The World of Materials and Technologies. Composite materials / F. Matthews, R. Rawlings // Mechanics and Technology, Technosphere. – Moscow, 2004.
2. Klimke J. Transparent Tetragonal Yttria-Stabilized Zirconia Ceramics: Influence of Scattering Caused by Birefringence / J. Klimke, M. Trunec, A. Krell // J. Am. Ceram. Soc 2011. – Vol.94. – 1850-1858.
3. Belichko D. Influence of hafnium oxide on the structure and properties of powders and ceramics of the YSZ–HfO<sub>2</sub> composition / D. Belichko, T. Konstantinova, A. Maletsky at all. // Ceramics International. – 2021. – Vol. 47. – P. 3142-3148.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ВОЛНОВОГО ПАКЕТА МЕТОДОМ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ

*Галинский М.К., Румянцев В.В.*, д-р физ.-мат. наук, проф.,

*Федоров С.А.*, канд. физ.-мат. наук

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

*phoenix.michael@yandex.ru*

**Введение.** Изучение формирования лазерных импульсов с различными скоростями распространения в последнее время привлекает достаточно большое внимание. Прежде всего, этот факт связан с интенсивным развитием информационных технологий. В связи с этим актуальны исследования групповой скорости электромагнитных волн в таких средах, как, например, атомарные пары, поляритонные кристаллы [1-4]. Особый интерес представляют работы, посвященные структурированию лазерных пучков и управлению скоростью их распространения в свободном пространстве [5-9].

Ранее авторами [7] в общем виде была установлена связь пространственных распределений групповой скорости, амплитуды и фазы колебаний поля электромагнитной волны при фиксированной частоте. В представленной работе показано, что эта связь применима для каждой частоты в спектре фемтосекундных лазерных импульсов с необходимой скоростью распространения.

**Цель** проведенного исследования – математическое моделирование структуры пространственно-временного электромагнитного волнового пакета, а также изучение его распространения с использованием разработанного ранее метода решения обратной задачи [7].

**Теоретическая модель.** Как показано в [7], поиск решения волнового уравнения

$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

в виде  $\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{A}(\vec{r}) \exp[i(\omega t + \varphi(\vec{r}))]$  в линейной однородной изотропной среде ( $\omega$  – частота,  $c$  – скорость света в данной среде,  $\vec{A}(\vec{r})$ ,  $\varphi(\vec{r})$  – пространственные распределения амплитуды и фазы) приводит к системе уравнений, описывающей взаимосвязь  $\vec{A}(\vec{r})$ ,  $\varphi(\vec{r})$  и пространственного распределения групповой скорости  $\vec{V}(\vec{r})$ :

$$\begin{cases} \Delta \vec{A} + \frac{\omega^2}{c^2} \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right) \vec{A} = 0 \\ \vec{A}(\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) + 2(\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{A} = 0 \\ \vec{\nabla} \varphi + \frac{\omega}{c^2} \vec{V} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Система (2) позволяет находить групповую скорость пучка с известными распределениями амплитуды и фазы (прямая задача), а также определять структуру пучка если известно пространственное распределение групповой скорости (обратная задача). Так как эта система получена непосредственно из волнового уравнения (1) без применения дополнительных приближений, она позволяет производить математическое моделирование распространения электромагнитных волн в линейной однородной изотропной среде с максимальной общностью.

**Результаты и обсуждение.** Для проведения математического моделирования структуры пространственно-временного электромагнитного волнового пакета были применены данные экспериментальных работ [8,9] по измерению скорости распространения указанных пакетов: длительность импульса  $\tau \approx 100$  фс (определена как время между половинами максимума амплитуды), длина волны излучения лазера  $\lambda = 800$  нм, групповая скорость  $\vec{V} = \vec{z} \cdot \text{const} \neq \vec{z} \cdot c$  во всем рассматриваемом участке пространства, где  $\vec{z}$  – орт оси  $OZ$ . Волна поляризована вдоль оси  $OY$ , а спектр импульса описывается функцией Гаусса.

Использование вышеуказанных параметров при решении системы (2) приводит к следующему распределению интенсивности пространственно-временного волнового пакета

$$I \sim \cos^2 \left( x \frac{\omega_0}{c} \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} + b \right) \exp \left[ \frac{-2 \ln(2)}{\tau^2} \left( t - \frac{x}{c} \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где  $b$  – некоторая константа,  $\omega_0 = 2\pi c / \lambda$  – частота излучения лазера. При этом ширина импульса вдоль оси  $OX$  принимает вид

$$\delta = \frac{c\tau}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (4)$$

Зависимость интенсивности пространственно-временного волнового пакета от координат представлена на рис. 1 а), а зависимость его ширины от скорости распространения для различных длительностей импульса на рис. 1 б).

**Заключение.** Проведено математическое моделирование структуры пространственно-временного волнового пакета с использованием метода [7]. Полученные результаты согласуются с таковыми в работах [8, 9], что указывает на допустимость применения метода [7] к моделированию

структуры лазерных импульсов с задаваемой скоростью распространения, а также в области лазерной коммуникации.

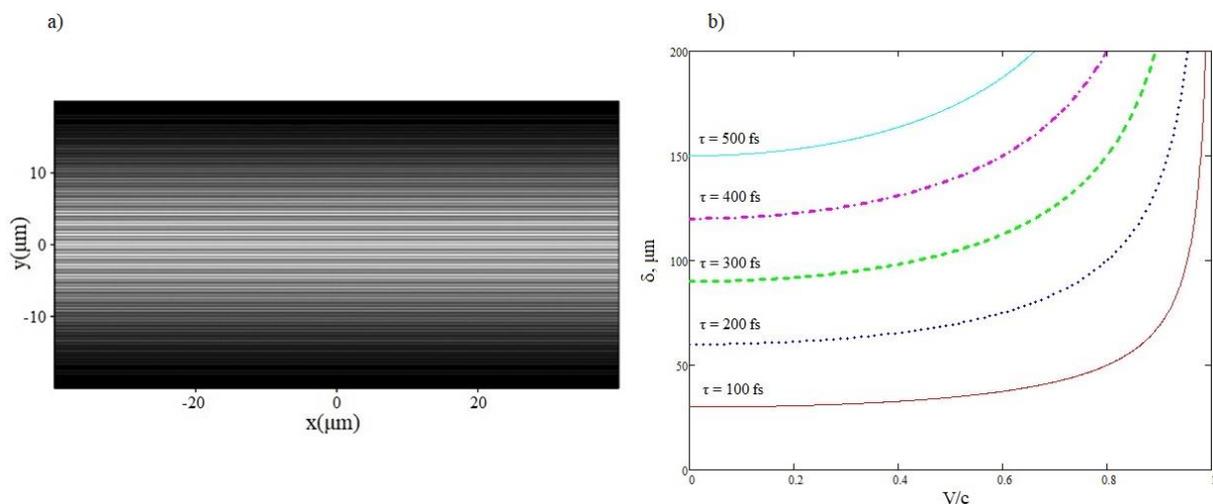


Рис. 1. а) Распределение интенсивности излучения (в относительных единицах) в плоскости  $XOY$ , б) Зависимости ширины пространственно-временного волнового пакета от групповой скорости при различных длительностях импульса

### Список литературы

1. Bigelow M.S. Observation of Ultraslow Light Propagation in a Ruby Crystal at Room Temperature / M.S. Bigelow, N.N. Lepeshkin, R.W. Boyd // *Phys. Rev. Lett.* – 2003. – V. 90. – P. 113903-113906.
2. Hau L. V. Light speed reduction to 17 meters per second in an ultracold atomic gas / L. N. Hau, S. E. Harris, Z. Dutton, C. H. Behroozi // *Nature.* – 1999. – V. 397. – P. 594-598.
3. Kash M. M. Ultraslow Group Velocity and Enhanced Nonlinear Optical Effects in a Coherently Driven Hot Atomic Gas / M. M. Kash, V. A. Sautenkov, A. S. Zibrov etc. // *Phys. Rev. Lett.* – 1999. – V. 82. – P. 5229-5232.
4. Romyantsev V. V. Dispersion characteristics of electromagnetic excitations in a disordered one-dimensional lattice of coupled microresonators / V. V. Romyantsev, S. A. Fedorov, K. V. Gumennyk, M. V. Sychanova // *Physica B: Condensed matter.* – 2015. – V. 461. – P. 32-37.
5. Giovannini D. Spatially structured photons that travel in free space slower than the speed of light / D. Giovannini, J. Romero, V. Potoček etc. // *Science* – 2015. – V. 347. – P. 857-862.
6. Bareza N. D. Subluminal group velocity and dispersion of Laguerre Gauss beams in free space / N. D. Bareza, N. Hermosa // *Sci. Rep.* – V. 6. – P. 26842-26847.
7. Галинский М. К. Групповая скорость света в оптически линейной и изотропной среде / В. В. Румянцев // *Проблемы искусственного интеллекта.* – 2018. – Т. 10. – С. 14-22.
8. Kondakci H. E. Optical space-time wave packets having arbitrary group velocities in free space / H. E. Kondakci, A. F. Abouraddy // *Nature Communications.* – 2019. – V. 10. – P. 929-936.
9. Kondakci H. E. Diffraction-free space-time light sheets / H. E. Kondakci, A. F. Abouraddy // *Nature Photonics.* – 2017. – V. 11. – P. 733-740.

## ОБОБЩЕННЫЕ УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИОННОГО ПЕРЕНОСА ВОДОРОДА В МЕТАЛЛАХ

*Глухова Ж.Л.*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Щеголева Т.А.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

*zhglukhova@yandex.ru*

Современные технологии обработки материалов используют различные физические воздействия. Различным физическим воздействиям подвергаются металлические конструкции и изделия из металлов и в процессе их эксплуатации. В системах металл-водород атомы водорода представляют собой примеси внедрения с чрезвычайно высокой подвижностью даже при низких температурах. Поэтому любые неравновесные взаимодействия в таких системах приводят к возникновению процессов переноса водорода и обусловленных этими процессами эффектов (например, эффект Горского, формоизменение образцов и др.) [1-3]. Взаимосвязь различных физических воздействий обуславливает развитие сопряженных (перекрестных) явлений в материалах. Примерами таких сопряженных явлений являются термоупругость [4] и водородоупругость [1,3].

В отсутствие каких-либо силовых полей направленный перенос атомов водорода является следствием энтропийной тенденции к равномерному распределению водорода в кристаллической решетке металла и описывается уравнением Фика. При наличии внешнего или внутреннего по отношению к кристаллу силового поля (поля упругих напряжений, теплового, электрического или др.) потенциальный барьер для диффундирующих атомов становится асимметричным. И на фоне фиковской энтропийной миграции появляется направленное, дрейфовое перемещение атомов под действием силового поля. Полученное авторами уравнение для диффузионного потока при наличии градиентов концентрации водорода, температуры и упругих напряжений, на основе метода термодинамических потенциалов имеет вид:

$$\vec{J}_c = -D \left( \nabla C_H - \frac{C_H A \alpha_H}{\rho R T} \nabla \sigma_{ii} + \frac{C_H Q^*}{R T^2} \nabla T \right), \quad (1)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии водорода в металле,  $C_H$  – концентрация растворенного водорода,  $T$  – абсолютная температура,  $\sigma_{ij}$  – компоненты тензора напряжений,  $\rho$  – плотность металла,  $A$  – атомная масса металла,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $\alpha_H$  – коэффициент линейного расширения металла при растворении водорода,  $Q^*$  – теплота переноса. Для описания взаимосвязанных изменений (эволюции) полей деформации (напряжений), температуры, концентрации водорода в общем случае необходимо задание 17-ти переменных во времени и пространстве

величин: 6-ти компонент симметричного тензора деформаций  $\varepsilon_{ij}(\vec{r}, t)$ , 6-ти компонент симметричного тензора напряжений  $\sigma_{ij}(\vec{r}, t)$ , 3-х составляющих вектора перемещения  $\vec{u}(\vec{r}, t)$ , температуры  $T(\vec{r}, t)$  и концентрации водорода  $C_H(\vec{r}, t)$ . Эти 17 переменных величин должны удовлетворять 6-ти уравнениям состояния:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} + \left[ \alpha_T (T - T_0) + \alpha_H C_H - \frac{\nu}{E} \sigma_{ii} \right] \delta_{ij}, \quad (2)$$

6-ти уравнениям, связывающим компоненты тензора деформации  $\varepsilon_{ij}$  и составляющие вектора перемещения  $u_i$ :

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (3)$$

3 уравнениям движения

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = \rho \ddot{u}_i, \quad (4)$$

временному уравнению диффузии

$$\frac{\partial C_H}{\partial t} = \text{div} \left[ D \left( \text{grad } C_H - \frac{C_H A \alpha_H}{\rho R T} \text{grad } \sigma_{ij} + \frac{C_H Q^*}{R T^2} \text{grad } T \right) \right], \quad (5)$$

уравнению теплопроводности

$$\text{div} (\lambda_q \text{grad } T) = \frac{T}{T_0} C_\sigma \dot{\Theta} + \alpha_T T \dot{\sigma}_{ii} - \frac{\rho Q^*}{A} \dot{C}_H. \quad (6)$$

где  $\Theta \equiv T - T_0$ ,  $T_0$  – температура в естественном состоянии. Под естественным следует понимать состояние без каких-либо напряжений, этому состоянию соответствуют параметры  $T = T_0$ ,  $\sigma_{ij} = 0$ ,  $\varepsilon_{ij} = 0$ ,  $C_H = 0$ .

При заданных начальных и граничных условиях записанная система уравнений (2)-(6) может служить основой для моделирования различных сопряженных явлений в системах металл-водород для конкретных практических и теоретических задач.

### Список литературы

1. Fundamentals of Hydrogen Treatment of Materials / V. A. Goltsov // Progress in Hydrogen Treatment of Materials. Edited by V.A. Goltsov. – Donetsk–Coral Gables: «Kassiopeya Ltd». – 2001. – P. 3-37.
2. Лунарска Э., Влияние концентрационных напряжений на транспорт водорода в Al / Э. Лунарска, Т. А. Рюмшина, О. Черняева // Известия РАН. Серия физическая. – 2003. – Т. 67, N 10. – С. 1417-1420.
3. Goltsov V. A., Hydrogen elasticity effect and its importance in diffusion of concentration inhomogeneities in metals / V. A. Goltsov, Zh. L., Glukhova, A. L. Redko // Int. Journal Hydrogen Energy. – 1997. – Vol. 22. – P. 179-183.
4. Коваленко, А. Д. Введение в термоупругость / А. Д. Коваленко. – Киев: Наукова думка, 1965. – 203 с.

## МАГНИТНОЕ ПОВЕДЕНИЕ МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКОГО СПЛАВА $\text{MnNi}_{0.85}\text{Co}_{0.15}\text{Ge}_{1.05}$ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

*Грибанов И.Ф.<sup>2</sup>, Нырков Н.Ю.<sup>1,2</sup>, Андрейченко Е.П.<sup>1</sup>, Ковалев О.Е.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

*[gribanig@mail.ru](mailto:gribanig@mail.ru)*

Сплавы системы  $\text{MnNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Ge}_{1.05}$  относятся к «зеленым» магнитокалорическим материалам, в которых при определенных условиях реализуются магнитоструктурные переходы порядок – порядок, сопровождаемые гигантским магнитокалорическим эффектом (МКЭ) [1]. Другой особенностью указанных сплавов является существование в некотором диапазоне концентраций кобальта двух магнитных фазовых превращений, последовательно реализуемых при охлаждении: изоструктурного перехода из парамагнитного (ПМ) в ферромагнитное (ФМ) состояние и далее из ферромагнитного в антиферромагнитное (АФ) состояние (см. [1] и ссылки в ней). Низкотемпературное превращение является фазовым переходом первого рода и сопровождается резким скачком намагниченности и изменением структуры от высокотемпературной гексагональной типа  $\text{Ni}_2\text{In}$  до низкотемпературной орторомбической типа  $\text{TiNiSi}$ . Именно с этим переходом связан большой обратный магнитокалорический эффект (ОМКЭ), представляющий интерес для практики ввиду постоянно расширяющейся сферы применения криогенных систем в промышленности, на транспорте, в медицине и т.д.

В настоящей работе исследована возможность понижения температуры магнитоструктурного перехода в сплавах  $\text{MnNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Ge}_{1.05}$  (в сравнении с [1]) путем расширения диапазона концентраций кобальта до  $x=0,15$ . Определено также влияние давления на магнитные фазовые превращения в рассматриваемых сплавах. Ниже представлены результаты для сплава с  $x=0,15$ , соответствующего нашему краю диапазона концентрации кобальта.

Для определения положения на Р-Т-диаграммах линий, соответствующих магнитным и магнитоструктурным фазовым переходам, снимались температурные зависимости намагниченности при разных давлениях. Кроме того, для идентификации возникающих магнитоупорядоченных состояний измерялись кривые намагничивания при фиксированных температурах. Эксперименты проводились с помощью маятниковых магнитных весов с подвешенным к концу маятника немагнитным контейнером высокого давления. Кристаллическая структура наблюдаемых магнитных фаз контролировалась с помощью рентгенодифракционного анализа, проводимого при разных температурах.

На рис. 1 показаны магнитные характеристики исследуемого сплава. Как видим, имеют место два магнитных перехода (ПМ-ФМ и ФМ-АФ) указанного выше типа, аналогичные установленным в [1] для  $0,05 < x < 0,11$ . Кривые намагничивания четко выявляют ФМ- и АФ-фазы. Температуры этих переходов для  $x=0,15$  хорошо ложатся на продолжение концентрационной T-x диаграммы, приведенной в [1].

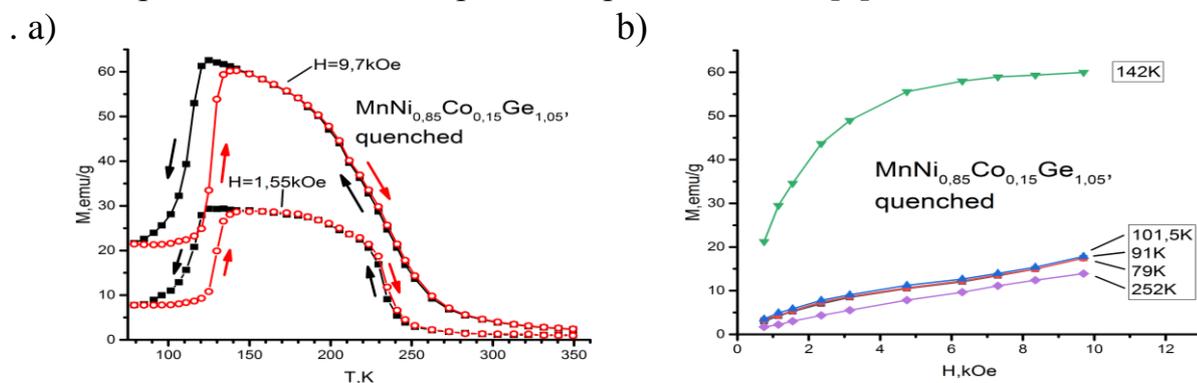


Рис. 1. Магнитные характеристики сплава  $\text{MnNi}_{0,85}\text{Co}_{0,15}\text{Ge}_{1,05}$ , закаленного в воду от температуры гомогенизирующего отжига  $800\text{ }^\circ\text{C}$ .

а) – температурные зависимости намагниченности в разных магнитных полях; б) – кривые намагничивания при разных температурах

Оценка МКЭ-эффекта в сплаве  $\text{MnNi}_{0,85}\text{Co}_{0,15}\text{Ge}_{1,0}$  представлена на рис. 2а. Температурный ход скачка энтропии при намагничивании образца в окрестности фазовых переходов определялся стандартным образом с использованием соотношения Максвелла.

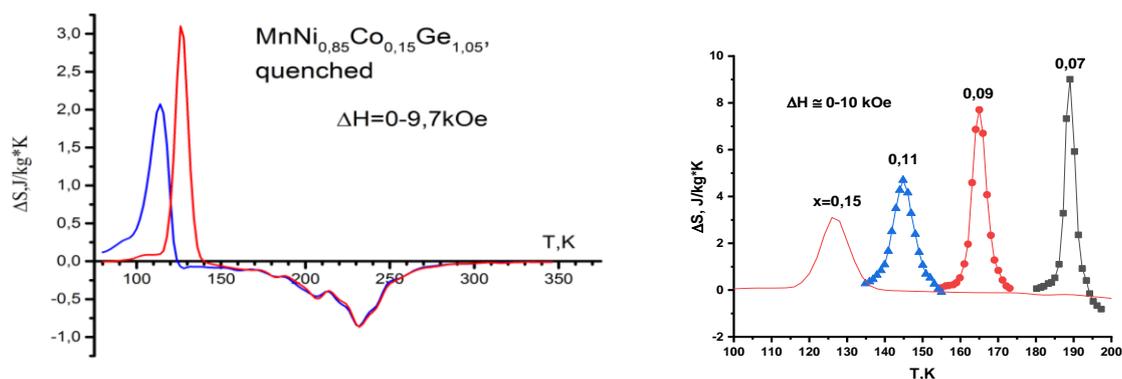


Рис. 2. а) – прямой и обратный МКЭ в сплаве  $\text{MnNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Ge}_{1,05}$ ; б) – обратный МКЭ в сплавах системы  $\text{MnNi}_{0,85}\text{Co}_{0,15}\text{Ge}_{1,05}$ . Данные для  $0,07 < x \leq 0,11$  взяты из [1]

Как видно из рис. 2б, тенденция к уменьшению ОМКЭ с ростом концентрации кобальта сохраняется. Это может быть связано со сжатием кристаллической решетки при замещении атомов Ni атомами Co [1], сопровождающемся ухудшением функциональных характеристик перехода ФМ-АФ. Такая версия подтверждается исследованием влияния

внешнего давления на магнитное поведение сплава  $\text{MnNi}_{0,85}\text{Co}_{0,15}\text{Ge}_{1,05}$ , результаты которого представлены на рис. 3 и 4.

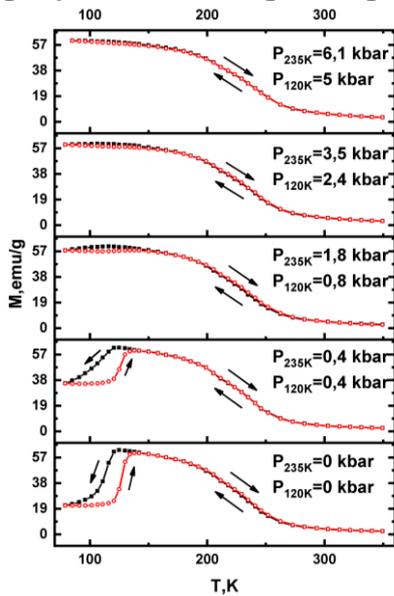


Рис. 3. Температурные зависимости намагниченности закаленного сплава  $\text{MnNi}_{0,85}\text{Co}_{0,15}\text{Ge}_{1,05}$ , в магнитном поле 9,7 кЭ при разных давлениях

Давления, указанные на графиках (рис. 3), соответствуют температурам переходов ПМ-ФМ и ФМ-АФ. Они различаются из-за разницы температурных коэффициентов расширения материала корпуса контейнера высокого давления и среды, передающей давление.

Как видно из рис. 3, давление ~0,8 кбар полностью подавляет АФ-фазу и стабилизирует ФМ-состояние, которое остается устойчивым и ниже 77 К. Результирующая фазовая P-T-диаграмма показана на рис. 4. Аналогичного магнитного поведения можно ожидать и при дальнейшем увеличении концентрации кобальта в сплавах системы  $\text{MnNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Ge}_{1,05}$ . Таким образом видно, что

область реализации обратного магнитокалорического эффекта сильно ограничена в фазовом P-T-x-пространстве. Это делает проблематичным оптимизацию функциональных характеристик исследуемых сплавов для низкотемпературных приложений. Такая оптимизация требует дополнительного изучения

по крайней мере двух критических явлений в магнитном поведении сплавов  $\text{MnNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Ge}_{1,05}$ , связанных с необходимостью сохранения при комнатной температуре высокотемпературного распределения атомов в кристаллической решетке и со слабой устойчивостью АФ-фазы по отношению к сжатию решетки.

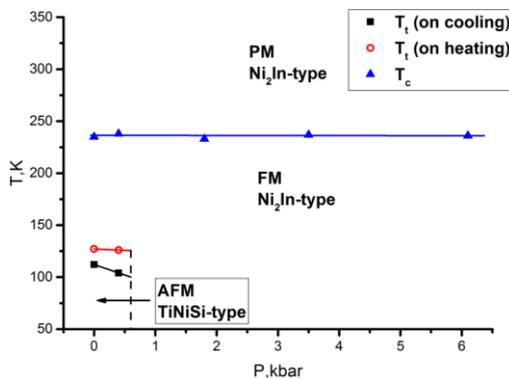


Рис. 4. Фазовая P-T – диаграмма закаленного сплава  $\text{MnNi}_{0,85}\text{Co}_{0,15}\text{Ge}_{1,05}$ . При  $P > 0,6$  кбар кристаллическая структура сплава остается, скорее всего, гексагональной во всем исследованном температурном диапазоне, включая  $T < 77$  К

## Список литературы

1. Zhang C., Wang D. et al. J. Phys. // D: Appl. Phys. – 2010. – V. 43. –P. 205003.

## АНИЗОТРОПИЯ ПРОВОДИМОСТИ В ГРАФИТОПОДОБНЫХ ПЛЕНКАХ

*Изотов А.И., Кильман Г.В., Сироткин В.В.,*

*Шалаев Р.В.*, канд. физ.-мат. наук

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

*scsecr@donfti.ru*

**Введение.** В настоящее время стремительно развивающаяся электроника вступила в серьезное противоречие со своей традиционной кремниевой платформой, и один из наиболее перспективных материалов, способных прийти на смену кремнию – углерод. Давно известно, что его электрические свойства могут варьировать в очень широком диапазоне, но настоящий всплеск интереса к углероду произошел после создания графена. Данный материал отличается высокой подвижностью носителей заряда (при нормальных условиях в 10 раз больше, чем в кремнии) [1], амбиполярным полевым эффектом, баллистическим транспортом при нормальных условиях и многими другими интересными свойствами. Уже сегодня существуют прототипы интегральных схем на основе графена, работающих на частоте до 10 ГГц при комнатной температуре и имеющих площадь менее 1 мм<sup>2</sup>. Кроме того, следует учитывать, что, помимо графена, углерод может формировать также идеальные одномерные структуры и гибридные объекты. Не исключено, что в комплексе все вышеперечисленное даст возможность в будущем реализовать идею полностью углеродной высокоскоростной наноэлектроники [2].

Таким образом, создание новых материалов на основе углерода, способных обеспечить рост производительности интегральных микросхем, представляется в настоящее время весьма актуальной задачей. Целью данной работы являлось исследование электрических свойств графитоподобных пленок, полученных методом магнетронного распыления графита.

**Результаты и их обсуждение.** Пленки на двух видах подложек были получены в атмосфере аргона при токе 40 мА и температуре 360 °С. Образец, выращенный на подложке из плавного стекла, дал возможность измерить величину поперечной проводимости. Для изучения продольной проводимости использовалась полностью аналогичная пленка, только на металлической подложке; измерения проводились в структуре хромистая сталь – пленка – измерительный контакт. И в первом, и во втором случае сопротивление измерялось двухзондовым методом.

Исследование показало, что полученные образцы обладают довольно значительной анизотропией проводимости. Согласно приблизительному расчету, произведенному на основе полученных данных, удельное сопротивление материала в поперечном направлении составляет порядка

$10^5 \text{ Ом*мм}$ , а удельное сопротивление в продольном направлении (инструментальная хромистая сталь – пленка – измерительный контакт) оказалось значительно меньше – порядка  $10^2 \text{ Ом*мм}$ . Таким образом, анизотропия проводимости пленок составляет  $10^3 \text{ Ом*мм}$ .

При измерении продольной проводимости нами также была построена зависимость  $\ln I(U)$ , которая представлена на рисунке.

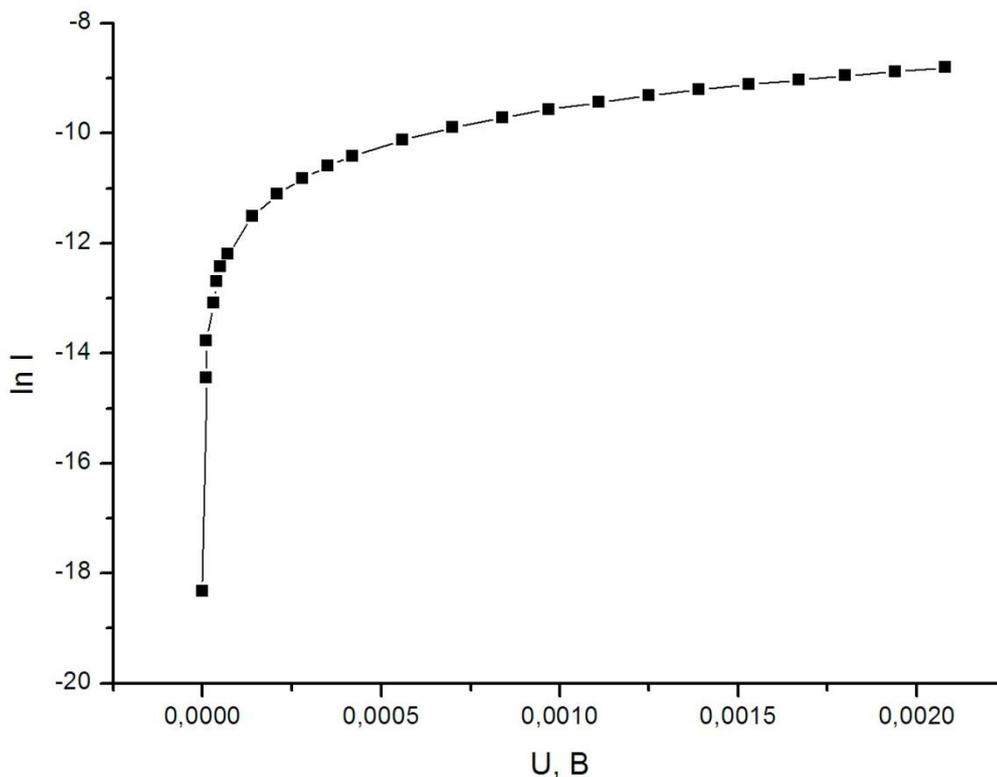


Рис. Зависимость натурального логарифма тока от напряжения, полученная при продольных измерениях проводимости образца

**Заключение.** Исследования показали, что полученные графитоподобные пленки обладают существенной анизотропией проводимости, составляющей  $10^3 \text{ Ом*мм}$ . Это свойство материала может быть интересно в прикладных областях – таких, как микро- и наноэлектроника. В дальнейшем мы планируем выяснить, какими структурными особенностями полученных пленок обусловлен подобный эффект. Не исключено, что в будущем это даст возможность получать материалы с прогнозируемыми электрическими свойствами.

#### Список литературы

1. Schwierz F. Graphene transistors / F. Schwierz // Nature nanotechnology. – 2010. – V. 5. – P. 487–496.
2. Губин С. П. Полностью углеродная наноэлектроника / С. П. Губин // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2011. – Т. 3, № 1. – С. 47–54.

## **СТРУКТУРА И МЕХАНИЗМ РОСТА МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ПЛЕНКАХ НИТРИДА УГЛЕРОДА, ЛЕГИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ЕВРОПИЯ**

*Лихтенштейн И.Я., Шемченко Е.И.,  
Петренко А.Г., д-р физ.-мат. наук, проф.*

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*liechtenstein\_igor@mail.ru, shemal@mail.ru*

Углеродные нанотрубки впервые наблюдались еще в середине прошлого столетия [1], однако наибольший интерес к ним возник лишь после публикации Иидзимы (Iijima) в 1991 году [2]. С тех пор УНТ нашли практическое применение, например, в пластиковой арматуре и проводящих пластмассах [3]. Кроме того, исследования продолжают в таких областях, как медицина, электроника, производство и хранение энергии и т.д. [4]. В свою очередь, легирование нанотрубок атомами редкоземельных металлов положительно сказывается на их оптических свойствах и открывает возможность использовать массивы таких трубок в качестве элементов квантовых компьютеров [5]. Однако масштабное производство УНТ с желаемой структурой требует фундаментального понимания механизма их роста.

В работе исследованы особенности роста и строения многослойных углеродных нанотрубок в пленках  $CN_x:Eu_yO_z$ , полученных методом ДС-магнетронного распыления комбинированной углерод-металлооксидной мишени. Пленки выращивали в 100% атмосфере азота на протяжении одного часа при токе 47-48 mA и напряжении разряда 235-247 V. Давление в рабочей камере поддерживалось на уровне 160-170 mTorr. Температура нагрева подложки составила 225°C [6]. Полученные образцы изучали с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-200A фирмы «JEOL».

Анализ ПЭМ изображений показал, что пленки состоят из вертикально ориентированных многослойных углеродных нанотрубок диаметром 65-75 nm. При этом диаметр внутренней полости составляет 13-19 nm, а толщина стенок варьируется в диапазоне 25-30 nm. Нанотрубки являются закрытыми, т.е. имеют на своем конце полусферическую «шапочку», размер которой может превышать внешний диаметр трубки и достигать до 80 nm [6].

Многослойные углеродные нанотрубки, полученные методом магнетронного распыления графитовой мишени с добавкой  $Eu_2O_3$  имеют строение, аналогичное N-МУНТ, полученным стандартным методом

химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ) с предварительным засеиванием подложки металлическими частицами (рис. 1). На кончиках трубок едва различимы сферические образования (рис. 1, а), напоминающие частицы катализатора, образующиеся в процессе вершинного механизма роста УНТ [7]. Однако в отличие от нанотрубок, выращенных методом ХОГФ (рис. 1, б), предполагаемая частица катализатора имеет существенно меньшую контрастность на ПЭМ изображении относительно стенок нанотрубки. Это указывает на то, что частица мало отличается по химическому составу от окружающего материала и, с высокой вероятностью, состоит из аморфного углерода.

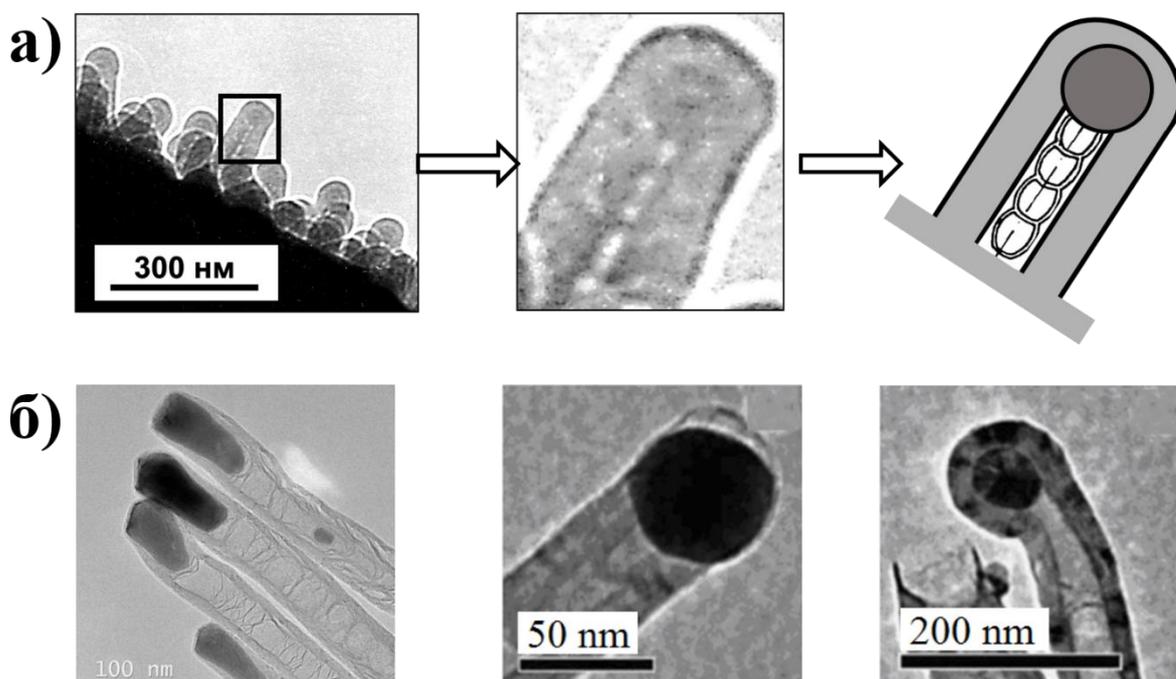


Рис. 1. Структура N-МУНТ, полученных: а) методом магнетронного распыления графитовой мишени с примесью в виде порошка  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ; б) каталитическим ХОГФ методом [7]

Предполагается, что на начальном этапе формирования пленки имеет место образование аморфных углеродных глобул, которые играют роль катализатора роста МУНТ, а дальнейший рост соответствует модели вершинного механизма образования углеродных нанотрубок (рис. 2). Поступающие из плазмы на протяжении всего процесса роста радикалы оксида европия с большой долей вероятности будут оседать на наружной поверхности трубки, а также встраиваться в каталитическую глобулу. На завершающем этапе (рис. 2, г), после выключения разряда, в результате остывания глобула уменьшается, принимая сферическую форму, а выделяющиеся при этом излишки углерода формируют вокруг нее т.н. «шапочку».

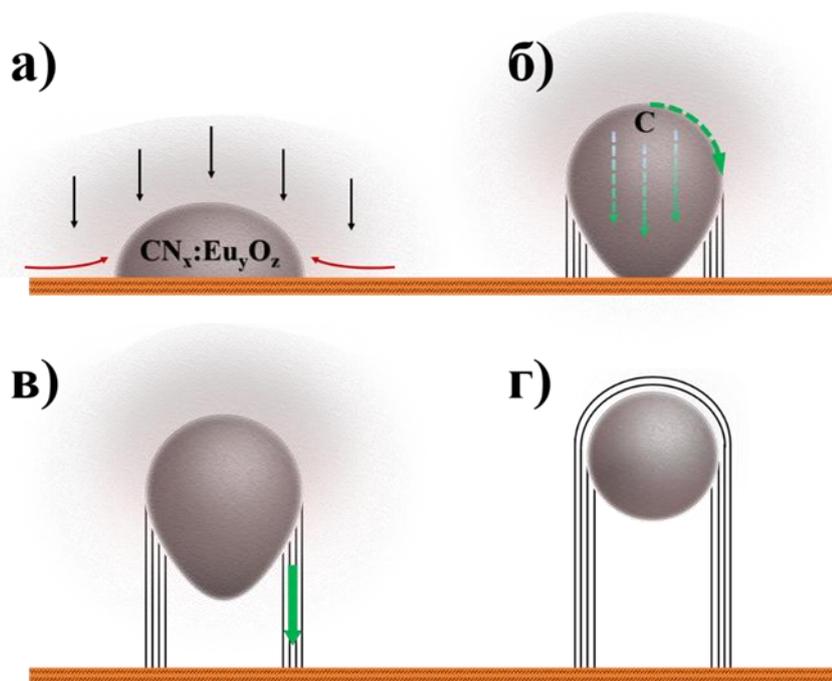


Рис. 2. Механизм образования МУНТ в пленках  $CN_x:Eu_yO_z$ :  
 а) формирование аморфной глобулы;  
 б) диффузия углерода; в) вершинный механизм роста;  
 г) формирование «шапочки»

### Список литературы

1. Радушкевич Л. В. О структуре углерода, образующегося при термическом разложении окиси углерода на железном контакте / Л. В. Радушкевич, В. М. Лукьянович // Журнал физической химии, 1952. – № 26. – С. 88-95.
2. Iijima S. Helical Microtubules of Graphitic Carbon / S. Iijima // Nature. – 1991. – № 354. – С. 56-58.
3. Thayer A. Carbon nanotubes by the metric ton / A. M. Thayer // Chem. Eng. News, 2007. – Т. 85, № 46. – С. 29-35.
4. Руденков А. С. Углеродные нанотрубки: классификация, особенности синтеза, методы исследования, области применения / А. С. Руденков, М. А. Ярмоленко // ПФМТ, 2019. – № 2 (39). – С. 7-14.
5. Шемченко Е. И. Люминесценция и модель роста наноколонарных пленок  $CN_x:Eu_yO_z$ , полученных на магнетроне постоянного тока / Е. И. Шемченко, В. И. Кириченко, А. Н. Гангало // ФТВД. – 2017. – № 2. – С. 27-36.
6. Лихтенштейн И. Я. Особенности структуры пленок  $CN_x:Eu_yO_z$ , полученных с помощью магнетрона постоянного тока / И. Я. Лихтенштейн, Е. И. Шемченко, В. А. Глазунова // ФТВД. – 2020. – № 2. – С. 81-87.
7. Deck C. P. Growth mechanism of vapor phase CVD-grown multi-walled carbon nanotubes / C. P. Deck, K. Vecchio // Carbon. – 2005. – № 43 (12). – С. 2608-2617.

## НЕРАВНОВЕСНАЯ ЭВОЛЮЦИОННАЯ ТЕРМОДИНАМИКА ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

*Метлов Л.С.<sup>1,2</sup>*, д-р физ.-мат. наук, проф., *Гордей М.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup> ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*lsmet@donfti.ru@mail.ru*

В настоящее время широко применяются сплавы с поликристаллической структурой, обработка которых происходит методами мегапластической деформации (МПД) [6]. Дефектообразование в сплавах можно описывать, используя неравновесную эволюционную термодинамику (НЭТ), при этом предполагается, что фазовое состояние сплава не меняется или меняется незначительно. Однако, всё чаще МПД подвергаются сплавы склонные к фазовым превращениям (ФП). Причем интерес представляют как диффузионные ФП, так и бездиффузионные (мартенситные). Наиболее простой случай – это диффузионные фазовые переходы в двухкомпонентных сплавах на основе меди.

Фазовые диаграммы таких двухкомпонентных сплавов хорошо изучены в работах Б.Б. Страумала и соавторов [1, 2]. На примере сплавов CuAg и CuCo построены экспериментальные графики зависимости концентрации растворенного компонента от температуры отжига и дополнительно после обработки кручением под высоким давлением (КВД).

Главным результатом этих работ является тот факт, что при любой температуре отжига при последующей обработке КВД сплав всегда выходит на одно и то же состояние с определенным содержанием растворенного компонента, который можно ассоциировать с точечными структурными дефектами замещения.

Для теоретического решения проблемы необходимо рассмотреть две задачи. В рамках теории фазовых переходов описать равновесную фазовую диаграмму, которая достигается в результате отжига образцов, а потом, используя эти равновесные состояния в качестве начальных данных, рассчитать эволюцию состояния системы в процессе МПД.

Ограничимся решением только второй части проблемы в рамках НЭТ, а уточнение модели для первой части отложим на более позднее время.

Динамику дефектов можно разделить на две категории: 1-я – генерация и аннигиляция всех видов структурных дефектов, включая и точечные, в процессе МПД и 2-я – тепловая релаксация дефектов до и после МПД. На второй стадии полностью к равновесному состоянию релаксируют только точечные дефекты, а другие более мощные дефекты

(дислокации и ГЗ) релаксируют лишь немного, сокращая свою длину (кривизну) или площадь до некоторого минимального размера, но общая топологическая сетка остается неизменной.

Основная идея усовершенствованного метода НЭТ заключается в том, что для учета возможных мартенситных ФП при МПД нужно во внутреннюю энергию ввести ПП. Для этого лучше стартовать из выражения свободной энергии и через преобразование  $U = F + TS$  перейти к внутренней энергии, а далее по стандартной схеме НЭТ, в которой ПП будет также эволюционировать, как и плотности дефектов. Для диффузионных ФП нужно учитывать также неоднородность задачи по всем видам дефектов и по ПП (в виде движения доменных границ).

По итогу, к стандартной системе эволюционных уравнений НЭТ для структурных дефектов [3,6]

$$\begin{aligned}\frac{\partial h}{\partial t}^P &= \gamma_P \left( \varphi_{0P} - \varphi_{1P} h_P + \varphi_{DP} h_D + \varphi_{gP} h_g + \varphi_{OP-P} OP \right) + f_P, \\ \frac{\partial h}{\partial t}^D &= \gamma_D \left( \varphi_{0D} - \varphi_{1D} h_D + \varphi_{PD} h_P + \varphi_{gD} h_g + \varphi_{OP-D} OP \right) + f_D, \\ \frac{\partial h}{\partial t}^g &= \gamma_g \left( \varphi_{0g} - \varphi_{1g} h_g + \varphi_{2g} h_g^2 - \varphi_{3g} h_g^3 + \varphi_{gP} h_P + \varphi_{gD} h_D + \varphi_{OP-g} OP \right) + f_g.\end{aligned}$$

необходимо добавить эволюционные уравнения для ПП

$$\frac{\partial OP}{\partial t} = \gamma_{OP} \left( \varphi_{0OP} - \varphi_{1OP} OP + \varphi_{P-OP} h_P + \varphi_{D-OP} h_D + \varphi_{g-OP} h_g + OP_{interact} \right) + f_P.$$

Используя данные уравнения можно рассчитать совместную эволюцию структурных дефектов и параметра порядка. Важной фундаментальной особенностью этой эволюции является наличие некоторого универсального стационарного состояния, к которому стремится система в процессе эволюции. Например, если начальная плотность легирующего компонента в сплаве ниже ее стационарного значения, то плотность компонента возрастает, если выше, то падает (рис. 1). Такая закономерность наблюдалась на эксперименте для сплава Cu-Co [2].

Однако экспериментаторам в силу ограниченности технических возможностей трудно провести сразу весь спектр измерений, включая измерения плотностей структурных дефектов. Теоретически это сделать несложно и на рис. 2 приведены результаты таких расчетов. Параметры модели для сопоставимости с ранее проведенными расчетами были выбраны совпадающими с таковыми для чистого материала, приведенными в работе [6]. Тонкие пунктирные линии относятся, как раз, к случаю чистой матрицы. Возможность растворения легирующего компонента приводит к временной задержке эволюции границ зерен и дислокаций. Это можно объяснить тем, что работа внешних сил отвлекается на

растворение легирующего компонента, в результате чего образование структурных дефектов замедляется.

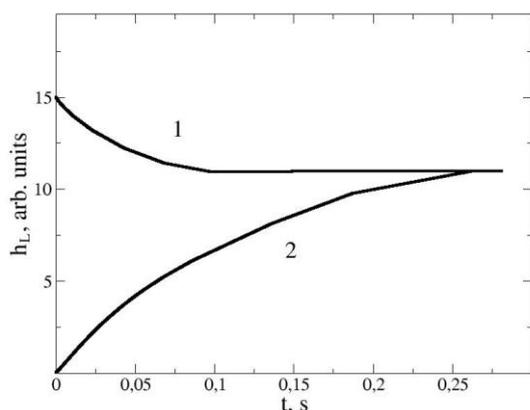


Рис. 1. Эволюция плотности атомов легирующего компонента в процессе МПД. 1 – начальная плотность выше стационарного значения, 2 – нулевое начальное значение плотности легирующего компонента

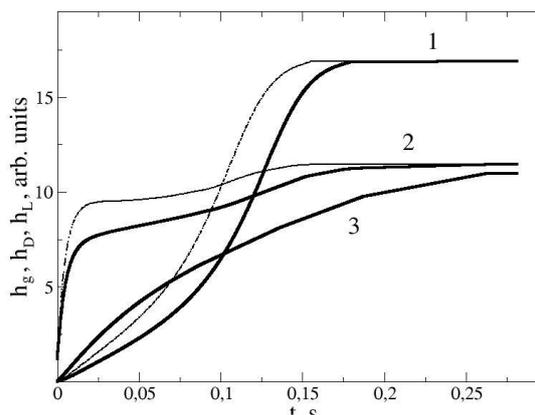


Рис. 2. Эволюция плотностей границ зерен (1), дислокаций (2) и легирующего компонента (3) в процессе МПД. Тонкие линии относятся к случаю чистой матрицы

### Список литературы

1. Straumal B. B. High pressure torsion of Cu-Ag and Cu-Sn alloys: Limits for solubility and dissolution / B. B. Straumal et al. // *Acta Materialia*, 195. – 2020. – С. 184-198/
2. Straumal B. B. Phase transitions during high pressure torsion of Cu-Co alloys / B. B. Straumal et al. // *Materials Letters*. – 2014. – V. 118. – P. 111-114.
3. Метлов Л. С. Структурные и магнитные фазовые переходы в матриаллах с кубической структурой /Л. С. Метлов, В. Д. Пойманов // *ФТВД*. – 2018. – Т. 28, № 1. – С. 62-75.
4. Straumal B. D. The Enrichment of (Cu, Sn) Solid Solution Driven by High-Pressure Torsion / B. D. Straumal et al. // *Crystals*. – 2021. – №7, vol. 11. – P. 766.
5. Korneva A. The enrichment of solid solution in a two-phase alloy during the high pressure torsion / A. Korneva et al. // *Materials Let.* – 2021. – Vol. 302. – 130386.
6. Metlov L. S. Nonequilibrium dynamics of a two-defect system under severe load / L. S. Metlov // *Phys.Rev. E*. – 2014. – V. 90. – 022124.

## КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ НАМАГНИЧЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ (1-x)BiFeO<sub>3</sub>-xRMnO<sub>3</sub> (R = Sc, Y)

*Михайлов В.И.*, канд. физ.-мат. наук,  
*Тарасенко Т.Н.*, канд. физ.-мат. наук, *Кравченко З.Ф.*, *Ковалев О.Е.*  
ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
*t.n.tarasenko@mail.ru, mikhaylovv55@gmail.com*

**Введение.** В последнее время значительно возросло число работ, посвященных мультиферроикам в связи с широкими перспективами создания на их основе различных функциональных устройств, таких как элементы памяти, преобразователи солнечной энергии, элементы микроэлектроники и спинтроники (см., например, обзор [1]).

Соединения со структурой перовскита BiFeO<sub>3</sub> (BFO), YMnO<sub>3</sub> (YMO) и ScMnO<sub>3</sub> (ScMO) являются мультиферроиками 1-го типа со следующими значениями температур сегнетоэлектрического T<sub>FE</sub> и магнитного T<sub>N</sub> упорядочений: BFO (~1100 К, 643 К), YMO (~ 920 К, ~70 К), ScMO (>700 К, ~130 К). В этих мультиферроиках сегнетоэлектричество проявляется при более высоких температурах, чем магнетизм. Связь между магнетизмом и сегнетоэлектричеством в этих материалах довольно слабая.

Известно, что BFO имеет ромбоэдрически искаженную структуру перовскита с пространственной группой *R3c* и антиферромагнитную структуру G-типа, которая деформируется взаимодействием Дзялошинского-Мория (ДМ), действующим в плоскости (111), с образованием пространственно-модулированной спиральной спиновой структуры с периодом ≈ 62 нм. Т.к. это взаимодействие сильно зависит от углов поворотов кислородных октаэдров, магнитные свойства BFO тесно связаны с локальной структурой октаэдра FeO<sub>6</sub> [1].

В соединениях RMnO<sub>3</sub> (пр. гр. *P6<sub>3</sub>cm*) магнитные взаимодействия между ионами марганца представляют собой сверхобменные взаимодействия через связи Mn-O-Mn [2]. При температурах упорядочения, в отличие от антиферромагнитного YMnO<sub>3</sub>, ScMnO<sub>3</sub> является слабым ферромагнетиком ДМ типа, происхождение которого связано с антисимметричной частью анизотропного сверхобменного взаимодействия [2].

В [3] показано, что в синтезированных нанокерамических образцах (1-x)BFO-xYMO в диапазоне замещений 0.1 ≤ x ≤ 0.2 сосуществуют фазы *R3c* и *Pbnm*. Ион Y<sup>3+</sup> со значительно меньшим ионным радиусом, чем у иона Bi<sup>3+</sup>, сильно дестабилизирует *R3c* фазу, что снижает фактор толерантности и увеличивает угол наклона октаэдров. Когда искажения достигают верхнего предела ромбоэдрической структуры, и она становится неустойчивой, понижение симметрии вызывает переход к орторомбической *Pbnm* фазе. Ионный радиус Sc<sup>3+</sup> ещё меньше, чем у Y<sup>3+</sup>. Поэтому в

(1-x)BFO–xScMO искажения кристаллической структуры должны быть еще больше.

Магнитные свойства (1-x)BFO–xRMO<sub>3</sub> определяются ионами Fe<sup>3+</sup> и Mn<sup>3+</sup>. В работе [4] методами исследования тонкой структуры спектров поглощения рентгеновских лучей и дифференциального термического анализа показано, что замещение в BFO ионов Fe<sup>3+</sup> на Mn<sup>3+</sup> приводит к сжатию связи Vi–O и ян-теллеровскому (ЯТ) искажению октаэдров (Fe/Mn)O<sub>6</sub>. С ростом x происходит перераспределение объёмов V сосуществующих фаз: V(*R3c*) – уменьшается, а V(*Pbnm*) – увеличивается. В наноразмерных мультиферроиках [3] (1-x)BFO–xYMO состав x=0.15 содержит 61.77 % фазы *R3c* и 38.23 % фазы *Pbnm*, а состав x=0.2 – 52.42 % и 47.58 %, соответственно.

Цель работы – изучение влияния одновременного замещения ионов Bi<sup>3+</sup> ионами Sc<sup>3+</sup> или Y<sup>3+</sup> и ионов Fe<sup>3+</sup> ионами Mn<sup>3+</sup> на магнитные свойства образцов мультиферроика BiFeO<sub>3</sub>.

**Основная часть.** Образцы керамик составов (1-x)BFO–xRMO (0.1≤x≤0.4) были получены по нитратной технологии. Исходными веществами для получения данных составов служили нитраты висмута, железа, марганца, скандия и иттрия. Стехиометрические количества растворенных в воде нитратов подвергали выпариванию до сухих солей. Полученный продукт для разложения нитратов нагревали при температуре 200–600 °С. После перетирки из полученного продукта были спрессованы в таблетки Ø 8 и толщиной d =1.5 мм, которые были подвергнуты отжигу при T = 850 °С в течение 10 минут на воздухе.

Концентрационные зависимости намагниченности M(x), полученные из кривых намагничивания при комнатной температуре, показаны на рис.

Обе зависимости M(x) имеют немонотонный характер: максимального значения M(x) достигают составы с x=0.15.

Высокие значения M(x) при x=0.15 связаны с подавлением циклоиды, вызванном структурными искажениями в замещенных Y и Sc образцах. Нарушения симметрии в кристаллической решетке приводят к изменению угла скоса спинов φ ионов Fe, а также длин связей Fe – O, что, в свою очередь, может привести к увеличению взаимодействия ДМ. Еще одним фактором,

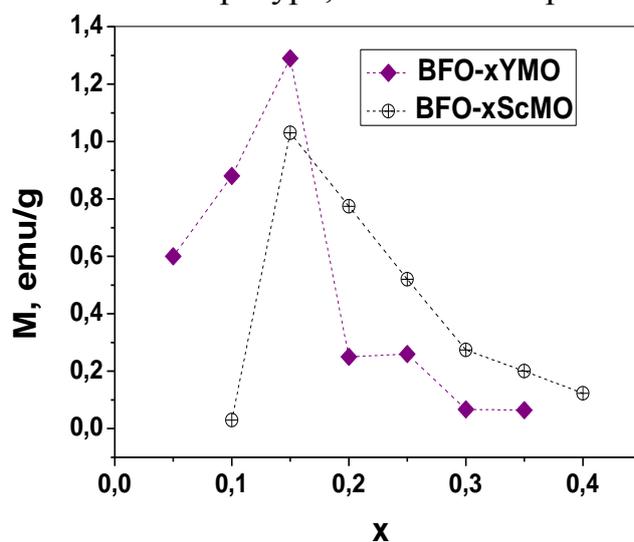


Рис. Концентрационные зависимости намагниченности M(x) образцов систем мультиферроиков (1-x)BFO–xRMO (R = Sc, Y) (при H=2.5 кЭ).

влияющим на возрастание намагниченности, является усиление ЯТ искажений при замещении  $\text{Fe}^{3+}$  на  $\text{Mn}^{3+}$  [4]. Уменьшение намагниченности при дальнейшем увеличении концентрации со-замещения ( $x > 0.15$ ) обусловлено возникновением, наряду с фазой  $R3c$ , второй кристаллографической фазы  $Pbnm$  с меньшей намагниченностью насыщения и перераспределением объемов этих фаз.

**Заключение.** Результаты проведенных исследований магнитных свойств систем  $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{RMnO}_3$ , где  $R = \text{Sc}$  или  $\text{Y}$  ( $0.1 \leq x \leq 0.4$ ), свидетельствует о наличии в этих керамических мультиферроиках ферромагнитного упорядочения при комнатной температуре, в отличие от «чистого»  $\text{BiFeO}_3$ . Возрастание намагниченности при  $x \leq 0.15$  связано с постепенным разрушением спиновой циклоиды. Вследствие замещения  $\text{Fe}^{3+}$  на  $\text{Mn}^{3+}$  возникают ЯТ искажения кислородного октаэдра  $(\text{Fe/Mn})\text{O}_6$ , что также приводит к росту намагниченности.

На концентрационных зависимостях намагниченности  $M(x)$  при  $x > 0.15$  для обеих систем  $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{RMnO}_3$  ( $R = \text{Sc}$  или  $\text{Y}$ ) наблюдается уменьшение намагниченности, что обусловлено перераспределением объемов кристаллографических фаз  $R3c$  и  $Pbnm$  с разными по величине значениями намагниченности  $M$ , при этом  $M(R3c) > M(Pbnm)$ . Поэтому суммарный магнитный момент при концентрации со-замещения  $x = 0.15$  достигает максимума, а при дальнейшем увеличении  $x$  начинает уменьшаться.

Уникальные особенности феррита висмута  $\text{BiFeO}_3$  и материалов на его основе открывают широкие возможности создания различных магнитоэлектрических устройств, работающих при комнатной температуре.

### Список литературы

1. Пятаков А. П. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики / А. П. Пятаков, А. К. Звездин // Успехи Физ. Наук. – 2012. – Т. 182, № 6. – С. 593-620.
2. Magnetic structure of hexagonal  $\text{RMnO}_3$  ( $R = \text{Y}, \text{Sc}$ ): Thermal evolution from neutron powder diffraction data / A. Muñoz, J. A. Alonso, M. J. Martínez-Lope, et al. // Phys. Rev. – 2000. – В62, № 14. – P. 9498-9510.
3. Phase transition and magneto-electric coupling of  $\text{BiFeO}_3\text{-YMnO}_3$  multiferroic nanoceramics / S.N. Tripathy, K.K. Mishra, S. Sen et al. // J. Appl. Phys. – 2013. – V. 114. – 144104 (9 pages).
4. The local distortion and electronic behavior in Mn doped  $\text{BiFeO}_3$  / L. Chen, L. Zheng, Y. He et al. // J. Alloys and Comp. – 2015. – V. 633. – P. 216- 219.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ТЕРМООБРАБОТКИ  
 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_{3-\delta}$  ПЛЕНОК РАЗНОЙ ТОЛЩИНЫ  
НА ПОДЛОЖКАХ  $\text{NdGaO}_3$**

*Николаенко Ю.М.*, канд. физ.-мат. наук, *Эфрос Н.Б.*

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

*nik@donfti.ru*

Легированные манганиты относятся к наиболее хорошо изученным многокомпонентным химическим соединениям, которые проявляют значительное отклонение от стехиометрического состава по кислороду. Эпитаксиальные пленки на основе легированных манганитов стронциевой системы ( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_{3-\delta}$ ), изготовленные магнетронным [1] или другим методом [2], изначально получают кислород дефицитными. Термообработка пленочных структур в кислород содержащей газовой среде является важной технологической процедурой, позволяющей изменять кислородное содержание (КС) в материале пленки. При этом выяснить условия, при которых в пленках на оксидных подложках обеспечивается КС, близкое к стехиометрическому составу, составляет проблему по причине отсутствия прямых методов контроля. В частности контроль КС с помощью энергодисперсионных спектрометров далеко не обеспечивает необходимую точность.

Недавние исследования процессов кислородного транспорта косвенным методом выявили сильную зависимость коэффициента диффузии от толщины и по толщине пленок [3, 4]. На рис. 1а приведены значения коэффициента диффузии в эпитаксиальных  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_{3-\delta}$  пленках разной толщины на подложках  $\text{NdGaO}_3$ , которые соответствуют окрестности внешнего интерфейса пленок при двух актуальных температурах 873 и 973 К. На рис. 1б показаны изменения величины коэффициента диффузии в зависимости от расстояния  $y/d$ , отсчитываемого от внешнего интерфейса и нормированного на толщину пленки  $d=75$  nm. По величине эффект большой и его следует учитывать при выборе условий термообработки пленок. Если термообработка осуществляется на воздухе, что технически наиболее просто, то для обеспечения в материале пленки стехиометрического КС=3 при заданной температуре необходимо выбрать оптимальную продолжительность процедуры. Это важно, поскольку во время термообработки в объеме пленки устраняются кислородные вакансии, а в приповерхностном слое формируется кислород избыточное состояние с образованием катион дефицитных кристаллических ячеек. На практике это выражается в немонотонной временной зависимости температуры фазового перехода металл-диэлектрик ( $T_C$ ). Вначале термообработки  $T_C$  кислород дефицитной пленки растет, а затем снижается.

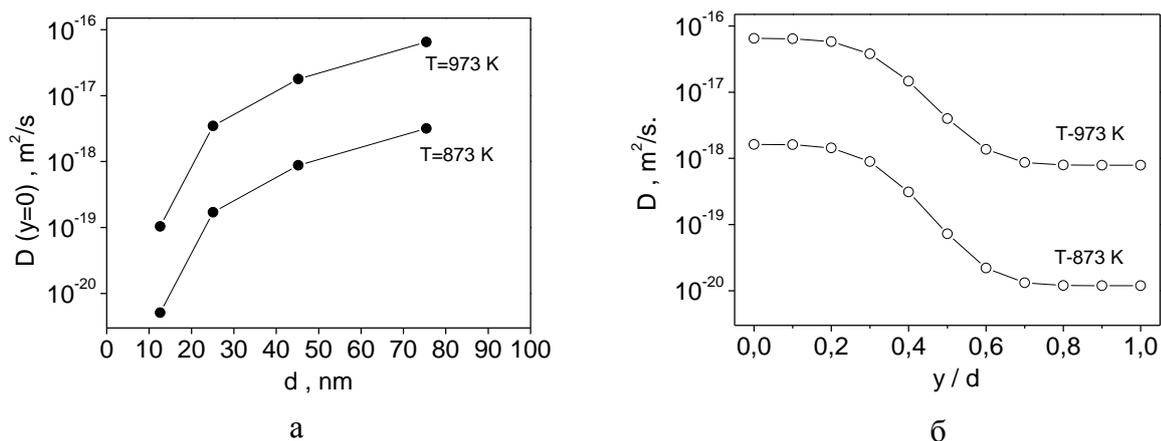


Рис. 1. Коэффициент диффузии в эпитаксиальных  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_{3-\delta}$  пленках в зависимости от толщины пленки (а) и расстояния  $y/d$  для пленки толщиной 75 nm (б)

Как нами было показано ранее [5], в LSMO пленках ( $x=0.2$ ), толщиной 25-75 nm с наиболее совершенной кристаллической структурой, образование катион дефицитных ячеек происходит при повышении температуры до 973 K и выше. Компромисс в выборе условий термообработки заключается в следующем. Применение пониженных температур требует значительно большего времени термообработки, а при повышении температуры возникают дополнительные кристаллические дефекты, и снижается  $T_C$ .

На рис. 2 приведены расчетные временные зависимости кислородного индекса LSMO пленок на  $\text{NdGaO}_3$  подложках в процессе термообработки на воздухе при  $T=873\text{ K}$ , 923 K и 973 K.

Начальное значение кислородного индекса в материале трех пленок принято одинаковым  $\delta=0.03$ , а для коэффициента диффузии учтена зависимость его значений от толщины и по толщине пленок. Как видно на рис. 2 более тонкая пленка ( $d=25\text{ nm}$ ) требует большего времени, чем пленка, толщиной 75 nm. Это следствие различий величины коэффициента диффузии в пленках разной толщины. При  $T=873\text{ K}$  необходимое время термообработки ( $\Delta t$ ) превышает сутки, при  $T=923\text{ K}$   $\Delta t$  снижается до 5-6 часов, а при  $T=973\text{ K}$   $\Delta t$  составляет примерно 1.5 часа.

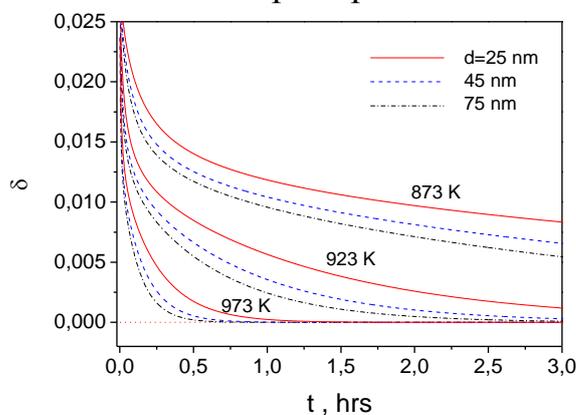


Рис. 2. Расчетные временные зависимости кислородного индекса для LSMO пленок, толщиной 25, 45 и 75 nm при термообработке на воздухе

## Список литературы

1. Получение высококачественных пленок на основе манганита на усовершенствованной магнетронной приставке ВУП-5М / Ю. М. Николаенко, А. Б. Мухин, В. А. Чайка, В. В. Бурховецкий // ЖТФ. – 2010. – Т. 80, № 8. – С. 115–119.
2. Abrutis A. Magnetoresistant LaSrMnO films by pulsed injection metalorganic chemical vapor deposition: effect of deposition conditions, substrate material and film thickness / A. Abrutis, V. Plausinaitiene, V. Kubilius, A. Teiserskis, Z. Saltyte, R. Butkute, J.P. Senateur // Thin Solid Films. – 2002. – V. 413. – P. 32–40.
3. Nikolaenko Yu. M. Non-uniform oxygen diffusion in epitaxial  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_{3-\delta}$  film on  $\text{SrTiO}_3$  substrate / Yu. M. Nikolaenko, A. N. Artemov, Yu. V. Medvedev, N. B. Efros, I. V. Zhikharev, I. Yu. Reshidova, A. A. Tikhii, S. V. Kara-Murza // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2016. – V. 49, № 37. – Art.No 375302. – 7 p.
4. Николаенко Ю. М. Диффузия кислорода в  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Mn}_{3-\delta}$  пленках разной толщины на  $\text{NdGaO}_3$  подложках / Ю. М. Николаенко, Н. Б. Эфрос, А. Н. Артемов // ЖТФ. – 2021. (принята к публикации)
5. Николаенко Ю. М. Вариация кислородного содержания в нанотолщинных пленках  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_{3-\delta}$  / Ю. М. Николаенко, Н. Б. Эфрос, А. С. Корнеев // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: матер. V Междунар. научн. конф. (Донецк, 17-18 ноября 2020 г.). – Донецк: ДонНУ, 2020. – Т. 1: Физико-математические и технические науки. – Ч. 2. – С. 111–113.

УДК 539.2+535

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА В НЕИДЕАЛЬНОМ 1D ФОТОННОМ КРИСТАЛЛЕ

*Паладян Ю.А., Федоров С.А.*, канд. физ.-мат. наук,  
*Румянцев В.В.*, д-р физ.-мат. наук, проф.

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
*paladyan0108@yandex.ru*

**Введение.** Изучению распространения электромагнитных волн в тонких пленках и идеальных слоистых кристаллических средах (в частности, в композитных материалах на основе кремния и жидкого кристалла [1]) в настоящее время уделяется достаточно много внимания. Общая теория оптических волн в периодических кристаллических средах, в том числе состоящих из макроскопических слоев, рассмотрена в [2]. Дальнейшее развитие теории слоистых структур требует исследования более сложных систем – одномерных (1D) сверхрешеток с дефектными слоями. В монографии [3] рассмотрено распространение электромагнитных волн в таких неидеальных 1D фотонных структурах на основе жидких кристаллов с включением последних в качестве слоев дефектов.

Особенности поляритонных спектров и соответствующих оптических характеристик, обусловленных изменением концентрации дефектов в неидеальных сверхрешетках удобно изучать, используя приближение

виртуального кристалла (ПВК), которое заключается в замене конфигурационно зависимых параметров гамильтониана задачи на усредненные их значения [4].

Цель работы – в рамках ПВК выполнить численное моделирование зависимости ширины нижайшей запрещенной зоны поляритонного спектра неидеального 1D фотонного кристалла от концентрации дефектов структуры, обусловленной вариацией слоев данной сверхрешетки по составу.

**Основная часть.** Оптические свойства среды определяются соответствующими материальными тензорами диэлектрической  $\hat{\varepsilon}(\vec{r})$  и магнитной  $\hat{\mu}(\vec{r})$  проницаемости. В координатном представлении тензоры  $\hat{\varepsilon}$  и  $\hat{\mu}$  в случае 1D сверхрешетки с произвольным числом  $\sigma$  слоев имеют следующий вид:

$$\begin{pmatrix} \hat{\varepsilon}(z) \\ \hat{\mu}(z) \end{pmatrix} = \sum_{n,\alpha} \begin{pmatrix} \hat{\varepsilon}_{n\alpha} \\ \hat{\mu}_{n\alpha} \end{pmatrix} \left\{ \theta \left[ z - (n-1)d - \left( \sum_{j=1}^{\alpha} a_{nj} - a_{n\alpha} \right) \right] - \theta \left[ z - (n-1)d - \sum_{j=1}^{\alpha} a_{nj} \right] \right\}. \quad (1)$$

Здесь  $d = \sum_{\alpha} a_{\alpha}$  – период сверхрешетки,  $a_{\alpha}$  – толщины соответствующих слоев одномерной цепочки элементов, лежащих на оси  $z$ ,  $\theta(z)$  – функция Хевисайда,  $n = \pm 1, \pm 2, \dots$  – номер ячейки 1D сверхрешетки, индекс  $\alpha = 1, 2, \dots, \sigma$  нумерует элементы ячейки.

В дальнейшем рассматривается неидеальная система, в которой разупорядочение связано лишь с вариацией состава примесных слоев, следовательно,  $a_{n\alpha} \equiv a_{\alpha}$ . Для расчета в дальнейшем поляритонного спектра неидеальной сверхрешетки необходимо провести конфигурационное усреднение соответствующих величин. В результате выполнения в рамках ПВК этой процедуры (обозначенной угловыми скобками) с последующей заменой:  $\hat{\varepsilon} \rightarrow \langle \hat{\varepsilon} \rangle$ ,  $\hat{\mu} \rightarrow \langle \hat{\mu} \rangle$  – получаем:

$$\begin{pmatrix} \langle \hat{\varepsilon}_{n\alpha} \rangle \\ \langle \hat{\mu}_{n\alpha} \rangle \end{pmatrix} = \sum_{\alpha, \nu(\alpha)} \begin{pmatrix} \varepsilon_{\alpha}^{\nu(\alpha)} \\ \mu_{\alpha}^{\nu(\alpha)} \end{pmatrix} C_{\alpha}^{\nu(\alpha)}, \quad (2)$$

где  $C_{\alpha}^{\nu(\alpha)}$  – концентрация примесного слоя  $\nu(\alpha)$ -го сорта в  $\alpha$ -й подрешетке,  $\sum_{\nu(\alpha)} C_{\alpha}^{\nu(\alpha)} = 1$ . Конфигурационное усреднение

«восстанавливает» трансляционную симметрию в кристаллической системе, поэтому применительно к исследуемому случаю неидеальной 1D сверхрешетки приобретенная трансляционная инвариантность позволяет представить материальные тензоры в виде разложения в ряд Фурье

$$\begin{pmatrix} \langle \hat{\varepsilon}(z) \rangle \\ \langle \hat{\mu}(z) \rangle \end{pmatrix} = \sum_l \begin{pmatrix} \hat{\varepsilon}_l \\ \hat{\mu}_l \end{pmatrix} \exp\left(-il \frac{2\pi}{d} z\right). \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что Фурье-амплитуды  $\hat{\varepsilon}_l, \hat{\mu}_l$  и усредненные диэлектрическая  $\langle \hat{\varepsilon}_{n\alpha} \rangle$  и магнитная  $\langle \hat{\mu}_{n\alpha} \rangle$  проницаемости слоев (2) связаны соотношением:

$$\begin{pmatrix} \hat{\varepsilon}_l \\ \hat{\mu}_l \end{pmatrix} = -\frac{i}{2\pi d} \sum_{\alpha} \begin{pmatrix} \langle \hat{\varepsilon}_{n\alpha} \rangle \\ \langle \hat{\mu}_{n\alpha} \rangle \end{pmatrix} \left\{ \exp\left( i \frac{2\pi}{d} l \sum_{j=1}^{\alpha} a_j \right) - \exp\left[ i \frac{2\pi}{d} l \left( \sum_{j=1}^{\alpha} a_j - a_{\alpha} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

В дальнейшем для простоты ограничимся рассмотрением распространения света вдоль оси  $z$  в немагнитной неидеальной бинарной 1D сверхрешетке, первый слой в которой – кремний, а второй – жидкокристаллический. Кроме того, полагаем, что значения компоненты  $K$  волнового вектора  $\vec{K} = (0,0,K)$  близки к значениям, определяемым условием Брэгга:  $\left| K - \frac{2\pi}{d} \right| \approx K$  и  $c^2 K^2 \approx \omega^2 \varepsilon_0$  [2]. В этом случае основной вклад в системах уравнений относительно Фурье-амплитуд электромагнитного поля  $\vec{f}_{K,p}^{(E,H)}$  дают амплитуды при  $p = 0, -1$  (что соответствует резонансу между этими составляющими плоских волн). Из условия равенства нулю детерминанта системы уравнений относительно Фурье-амплитуд поля  $\vec{f}_{K,0}^{(E)}$ ,  $\vec{f}_{K,-1}^{(E)}$  получаем следующее дисперсионное соотношение  $\omega(K)$ :

$$\left( K^2 - \frac{\omega(K)^2}{c^2} \varepsilon^{(0)} \right) \left[ \left( K - \frac{2\pi}{d} \right)^2 - \frac{\omega(K)^2}{c^2} \varepsilon^{(0)} \right] - \left( \frac{\omega(K)^2}{c^2} |\varepsilon^{(1)}| \right)^2 = 0. \quad (4)$$

Корни  $\omega_{\pm} = \omega(K)$  уравнения (4) определяют границы спектральной полосы: при частотах  $\omega_-(K) < \omega < \omega_+(K)$  (запрещенная зона) корни комплексные, электромагнитные волны – затухающие (брэгговское отражение), частоты  $\omega < \omega_-$ ,  $\omega > \omega_+$  соответствуют распространяющимся волнам.  $\Delta\omega = |\omega_+ - \omega_-|$  – ширина нижней запрещенной зоны. Обозначим концентрацию и диэлектрическую проницаемость основного вещества (матрицы) в первой и второй подрешетках соответственно, как  $C_1^{(1)}, \varepsilon_2^{(1)}$  и  $C_2^{(1)}, \varepsilon_2^{(1)}$ , а примеси –  $C_1^{(2)}, \varepsilon_1^{(2)}$  и  $C_2^{(2)}, \varepsilon_2^{(2)}$ . Зависимость  $\Delta\omega(C_1^{(2)}, C_2^{(2)})$  представлена на рис.

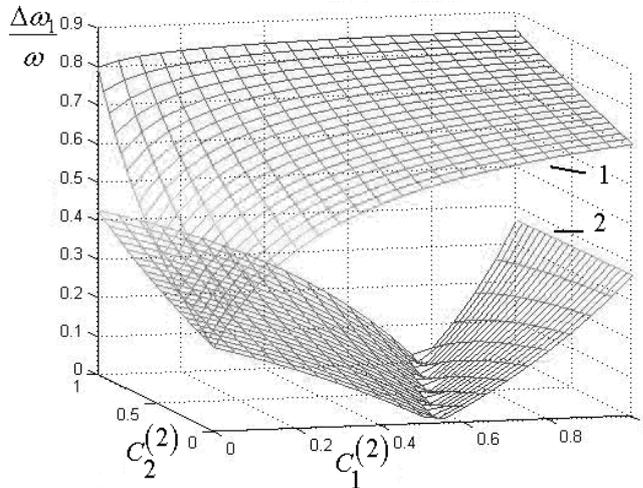


Рис. Зависимость относительной ширины щели нижней запрещенной зоны  $\Delta\omega/\omega$  1D сверхрешетки (с чередующимися слоями кремния и жидкого кристалла) от концентрации  $C_1^{(2)}, C_2^{(2)}$  примесных слоев:  
 1 – для случая  $\varepsilon_1^{(2)}/\varepsilon_1^{(1)} = 7.5$ ,  $\varepsilon_2^{(2)}/\varepsilon_2^{(1)} = 0.05$ ;  
 2 – для случая  $\varepsilon_1^{(2)}/\varepsilon_1^{(1)} = 0.5$ ,  $\varepsilon_2^{(2)}/\varepsilon_2^{(1)} = 0.005$ ,  
 $\varepsilon_1^{(2)}/\varepsilon_1^{(1)} = 0.5$ ,  $\varepsilon_2^{(2)}/\varepsilon_2^{(1)} = 0.005$

**Заключение.** Полученный в работе результат позволяет осуществлять численное моделирование зависимости зонной структуры неидеальных 1D фотонных систем от концентрации дефектов структуры.

#### Список литературы

1. Толмачев В. А. Перестройка запрещенных фотонных зон и спектров отражения одномерного фотонного кристалла на основе кремния и жидкого кристалла / В. А. Толмачев // Оптика и спектроскопия. – 2005. – Т. 99, № 5. – С. 797-801.
2. Ярив А. Оптические волны в кристаллах / А. Ярив, П. Юх. – Москва: Мир, 1987. – 616 с.
3. Шабанов В. Ф. Оптика реальных фотонных кристаллов / В. Ф. Шабанов, С. Я. Ветров, А. В. Шабанов. – Новосибирск: СО РАН, 2005. – 240 с.
4. Займан Дж. Модели беспорядка / Дж. Займан. – Москва: Мир, 1982. – 592 с.

УДК 661.11

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ПОЛЕЙ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРОВСКИТОВ

*Петренко А.Г.*, д-р физ.-мат. наук, проф., *Сухорукова Т.Ф.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*kf.tfnt@donnu.ru*

**Введение.** В современной физике твердого тела исследование перовскитов занимает одно из ведущих направлений. Особое внимание уделяется определению связи состав-структура-свойства и влиянию радиационных дефектов на параметры материалов. Это связано с тем, что перовскиты обладают достаточно широкими возможностями для создания материалов с заранее заданными свойствами, что и является актуальным.

Широкому применению перовскитов на основе твердых растворов цирконата-титаната свинца (ЦТС) в немалой степени способствует, наряду с другими преимуществами, возможность существенного изменения электрофизических параметров и получения различных сочетаний свойств путем модифицирования (легирования, добавками), изменения состава и структуры твердых растворов, воздействию облучения материалов контролируемых отклонений от стехиометрии.

**Основная часть.** С целью изучения влияния радиационных дефектов на физические параметры перовскитовых материалов проведено исследование свойств ЦТС при облучении электронами с энергиями 10-40 КэВ. Указанный диапазон энергий электронов интересен тем, что в результате облучения создаются простейшие дефекты. Механизм их образования связан с ионизацией возбуждением атомов входящих в состав облученного материала. По физическим соображениям ожидаем образо-

вание дефектов, обусловленных смещением в междуузельные положения атомов кислорода и кислородных вакансий в материале.

Изучалась температурная зависимость диэлектрической проницаемости от дозы облучения. Установлено, что облучение электронами с энергией 35 КэВ дозой  $0.56 \cdot 10^{17}$  электрон/см<sup>2</sup> приводит к увеличению максимальных значений проницаемости. С ростом дозы облучения до  $2.4 \cdot 10^{17}$  электрон/см<sup>2</sup> проницаемость увеличивается и смещается в сторону положительных температур. Рост параметров объясняется радиационным отжигом части естественных дефектов, имеющих в необлученном образце.

В материалах с ионной и ковалентной химической связями между атомами возможно образование радиационных дефектов за счет неупругих взаимодействий электронов с электронной подсистемой решетки кристалла. В результате неупругих соударений атомов электронов последние перебрасываются в зону проводимости и своим полем деформируют решетку кристалла, что приводит к смещению атома кислорода, образованию пары Френкеля з- кислородные вакансии между атомами кислорода, вблизи которых электроны локализируются. Величина смещения атома кислорода в случае облучения электронами сравнима с межатомными расстояниями. Возникающие дефекты структуры конденсируются на границах доменов. Они закрепляют 90-е доменные границы и ограничивают возможности их перемещения вплоть до полного выключения механизма переориентации во внешних электрических полях. Этим фактором мы объясняем эффект изменения проницаемости в при увеличении доз облучения. Нами установлено, что для всех исследованных образцов ЦТС наблюдается смещение точек фазовых переходов в сторону положительных температур, на что подтверждает проведенный нами рентгеноструктурный анализ. В случае поликристаллов сложного состава возникает образование и более сложные дефекты решетки.

Исследовались образцы перовскитов облученными электронами с большими энергиями на бетатроне Б-25 с энергией 25 МеВ. Облучение материалов проводилось внутри камеры бетатрона при температуре 315 КА, мощность дозы облучения составляла  $5 \cdot 10^{13}$  электрон/см<sup>2</sup>. Из полученных зависимостей электропроводности от доз облучения при различных температурах установлено, что с увеличением температуры значения электропроводности возрастают. Это связано с тем, что процессы упруго-обратных смещений атомов и неупругих смещений электронов под действием излучений, сопровождаются возбуждением упругих колебаний решетки и возбуждением электронной структуры. Это приводит к эффектам, аналогичным эффектам обычного нагревания кристаллов. Поэтому при малых дозах облучения имеет место радиационный отжиг дефектов, существующих в образцах до облучения. При дальнейшем возрастании дозы облучения значения электропро-

водности достигает максимального значения, а затем уменьшается. Последний эффект подобен эффекту старения сегнетокерамики. При облучении электронами с увеличением интегрального потока электронов происходит уменьшение значения спонтанной поляризации измеряемого по высоте петли гистерезиса. При облучении поляризованной керамики ЦТС быстрыми электронами обнаружено снижение потерь на внутреннее трение, которое не сопровождается заметным изменением параметров кристаллической решетки, доменной структуры и разрушением сегнетоэлектрического состояния. Нами показано, что с повышением температуры образцов скорость отжига дорадиационных дефектов увеличивается, а скорость накопления радиационных дефектов уменьшается.

Изучалась зависимость проницаемости от дозы облучения электронами для чистого ЦТС и с добавками ниобия. Показано, что проницаемость уменьшается с увеличением дозы в диапазоне  $3 \cdot 10^{14}$  электрон/см<sup>2</sup>. При дальнейшем облучении значение проницаемости вновь увеличивается, с дозой  $10^{16}$  электрон/см<sup>2</sup> величина проницаемости равна проницаемости необлученного образца. При введении атомов ниобия значение проницаемости изменяется. Так как наш образец является полупроводником р-типа с шириной запрещенной зоны в 2.98 эВ, то падающие электроны эффективно генерируют в образце электронно-дырочные пары, которые рекомбинируются на дефектах структуры и в регулярных узлах решетки, а после своей термализации рекомбинируются на акцепторных уровнях, имеющих в образце до облучения. Это приводит к уменьшению значений проводимости и проницаемости, а при больших дозах облучения может иметь место изменение знака проводимости.

**Заключение.** Таким образом установлено, что облучение электронами малых энергий вызывает такие же изменения диэлектрических параметров этих материалов, как и введение СМ добавок. Облучение электронами больших энергий приводит к изменению физических параметров, подобным при эффекте старения, облучение альфа частицами наблюдается также изменения, как и при введении СЖ добавок.

### Список литературы

1. Петренко А. Г. Дефекты структуры и свойства перовскитовых соединений: Монография / А. Г. Петренко // Донецк: Юго-Восток, 1997. – 208 с.
2. Епифанов Г. И. Физика твердого тела / Г. И. Епифанов. – Москва: Высшая школа, 1987. – 288 с.

## ТЕМПЕРАТУРА ДЕБАЯ СЖАТОГО ГЦК-НЕ В МОДЕЛИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ АТОМОВ

*Пилипенко Е.А.<sup>1</sup>*, канд. физ.-мат. наук,  
*Горбенко Е.Е.<sup>2</sup>*, канд. физ.-мат. наук, доц.

<sup>1</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
<sup>2</sup>ГОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск, ЛНР  
*pilipenko.katerina@mail.ru*

Не относится к легким кристаллам инертных газов (КИГ), которые образуют группу «Low-Z materials» (LZM) – веществ содержащих элементы с малым атомным номером (low-atomic number Z) наряду с гелием, водородом, их твердыми растворами (Ar-He, H<sub>2</sub>-Ne и др.). Эта группа выделена исследователями, занимающимися высоким давлением, так как LZM обладают высокой сжимаемостью, что приводит к большому изменению постоянной решетки под давлением. Структурная простота делает эти кристаллы незаменимыми объектами при тестировании теории и изучении квантовых эффектов, которые в LZM играют существенную роль [1].

В работе [2] на основе неэмпирической версии квантово-механической модели деформируемых и поляризуемых атомов (модель Толпыго см. [3] и ссылки там) построена динамическая матрица с учетом обоих видов трехчастичных взаимодействий как за счет перекрытия электронных оболочек, так и за счет их деформации. Это позволило рассчитать для кристаллического Ne фононные частоты в нужных точках зоны Бриллюэна и, используя метод Чади-Коэна, энергию нулевых колебаний в широком интервале давлений.

Цель настоящей работы – исследовать влияние трехчастичного взаимодействия в короткодействующем потенциале отталкивания и деформации электронных оболочек атомов в парном и трехчастичном приближениях на температуру Дебая сжатого кристаллического Ne в широком интервале давлений и температур.

Энергия связи кристалла  $E_{coh}$  и его решеточная теплоёмкость  $C_V$  в гармоническом приближении описываются формулами:

$$E_{coh}^* = \frac{N_A \Omega}{(2\pi)^3} \sum_{\lambda} \int d^3k \hbar \omega_{\lambda}(\mathbf{k}) \left[ \frac{1}{2} + n_{\lambda}(\mathbf{k}) \right], \quad (1)$$

где  $N_A$  – число Авогадро;  $\Omega = 2a^3$  – объем элементарной ячейки КИГ в ГЦК-фазе,  $a$  – параметр решетки, равный половине ребра куба.

$$C_V = \frac{R\Omega}{(2\pi)^3} \sum_{\lambda} \int d^3k \left[ \left( \frac{\hbar \omega_{\lambda}(\mathbf{k})}{k_B T} \right)^2 n_{\lambda}(\mathbf{k}) (n_{\lambda}(\mathbf{k}) + 1) \right], \quad n_{\lambda}(\mathbf{k}) = \left[ \exp \left( \frac{\hbar \omega_{\lambda}(\mathbf{k})}{k_B T} \right) - 1 \right]^{-1}, \quad (2)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $k_B$  – постоянная Больцмана.

Удельная теплоемкость  $C_V$  мала при низких температурах  $T \ll \theta_D$  ( $\theta_D$  – температура Дебая при  $T=0$ ) и пропорциональна  $T^3$ . Поэтому для сравнений теории с экспериментом удобно рассчитывать величину

$$\theta(T) = \left( \frac{12\pi^4}{5} \right)^{1/3} T \left( \frac{R}{C_V} \right)^{1/3}. \quad (3)$$

Нетрудно заметить, что при  $T=0$   $\theta(0)=\theta_D$ .

Температурная зависимость температуры Дебая  $\theta(T)$  Ne при разных давлениях, которая рассчитывалась по формуле (3), представлена на рис. 1 (а). Сопоставление расчетных значений температуры Дебая  $\theta(T)$  при нулевом давлении с экспериментальными данными [4] показывает правильность общего хода этой величины в достаточно широком температурном интервале 0-20 К (рис. 1 а, б). Это свидетельствует о том, что теория правильно передает значения  $\omega_{лк}$  на начальном участке кривых, в первую очередь для поперечных (низких) частот.

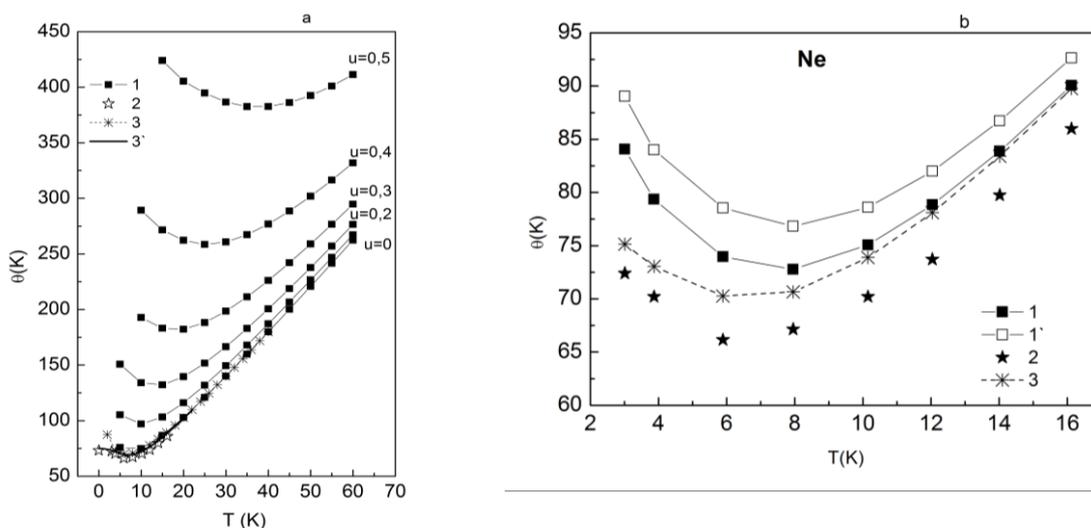


Рис. 1. Температурная зависимость  $\theta(T)$  кристаллического Ne: а – при разных давлениях, б – при  $p = 0$ . 1 – наш расчет в модели  $MT_2$ , 1' – расчет в модели  $M3a$  [5]. 2 – эксперимент [4]. 3, 3' – расчеты в модели  $M1$  по 10 [Ошибка! Залка не определена.] и 408 [6] точкам в схеме Чади-Козна, соответственно.

Однако относительная погрешность наших расчетов  $\theta(T)$  [7] в моделях  $MT_2$  (учитывает трехчастичные силы за счет перекрытия электронных оболочек и деформацию электронных оболочек атомов дипольного типа в парном и трехчастичном приближениях),  $M3a$  (учет деформации электронных оболочек атома в парном приближении) и  $M3$  [5] (парное взаимодействие в короткодействующем потенциале отталкивания без учета деформации электронных оболочек атома) по сравнению с экспериментом достаточно велика при низких температурах  $T \leq 5$  К. Учет трехчастичных сил за счет перекрытия электронных оболочек и деформации электронных оболочек атомов дипольного типа в парном и трехчастичном приближениях ( $MT_2$ ) улучшает согласие с экспериментом и

дает наименьшую погрешность (среднее значение  $\gamma_{MT_2} = 9.15\%$ ), приближая кривую температуры Дебая к экспериментальным точкам (рис. 1b). Средние значения погрешностей моделей М3а и М3 14.43 % и 14.48 % соответственно.

Большая погрешность рассчитанных нами значений  $\theta(T)$  для Ne по сравнению с экспериментом при температуре  $T \leq 5\text{K}$  объясняется недостаточным числом точек Чади-Коэна (см., например, кривые 3, 3' на рис. 1а) [6]. При температуре  $T \geq 10\text{K}$  – это погрешности, связанные с приближениями моделей  $MT_2$ , М3а и М3. Кроме того, необходимо принимать во внимание, что в неоне квантовые эффекты сравнительно велики, и модель Дебая (3), хорошо описывающая свойства в классических кристаллах, недостаточна.

Количественный анализ показал, что относительная погрешность полученных результатов с экспериментальными данными уменьшается с увеличением температуры. При этом сравнение средних значений погрешностей расчетных моделей и эксперимента выявило, что вклад деформации в парном приближении уменьшает погрешность на 0,05 %, а вклад трехчастичных сил, как за счет перекрытия, так и связанных с деформацией – на 5.3 %.

Таким образом, полученные нами результаты расчета температуры Дебая для ГЦК-Ne с учетом трехчастичных сил и деформации электронных оболочек атомов дипольного типа в парном и трехчастичном приближении хорошо согласуются с экспериментом и очень близки к результатам расчета в классической модели Толпыго.

### Список литературы

1. Hemley R. J. New phenomena in Low-Z materials at megabar pressures / R. J. Hemley, H. K. Mao // *Jornal of Physics: Condensed Matter* – 1998. – V.10. – P. 11157- 11168.
2. Троицкая Е. П. Энергия фононов и нулевых колебаний в сжатых кристаллических инертных газах / Е. П. Троицкая, Е. А. Пилипенко, Е. Е. Горбенко // *Физика твердого тела* – 2019. – Т. 61. – С.1890-1897.
3. Троицкая Е. П. Многочастичное взаимодействие и деформация электронных оболочек атомов в динамике решетки сжатых атомарных криоцисталлов / Е. П. Троицкая, Е. Е. Горбенко, Е. А. Пилипенко // *Физика низких температур*. – 2016. – Т. 42, № 5 – С. 526–537.
4. Batchelder D. N. Measurements of lattice constant, thermal expansion, and isothermal compressibility of Ne single crystals / D. N. Batchelder, D. L. Losee, R. O. Simmons // *Physical Review B*. – 1967. – V. 162, № 3. – p. 767-775.
5. Троицкая Е. П. Первопринципные расчеты фононных частот и связанных с ними свойств кристаллического Ne под давлением / Е. П. Троицкая, В. В. Чабаненко, Е. Е. Горбенко, Н. В. Кузовой // *Физика низких температур*. – 2009. – Т. 35, № 8 – С. 1041.
6. Зароченцев Е. В. Теплоемкость и тепловые колебания решетки кристаллов элементов нулевой группы / Е. В. Зароченцев, К. Б. Толпыго, Е. П. Троицкая // *Физика Низких Температур*. – 1979. – Т. 5, № 11. – С. 1325-1332.
7. Троицкая Е. П. Удельная теплоемкость и температура Дебая сжатого кристаллического неона в модели деформируемых атомов / Е. П. Троицкая, Е. А. Пилипенко, Е. Е. Горбенко // *Физика твердого тела* – 2020. – Т. 62. – С. 2129-2113.

## ГЕНЕРАЦИЯ ОБМЕННЫХ СПИНОВЫХ ВОЛН МАГНИТНЫМ СЛОЕМ ПРИ НАЛИЧИИ НЕОДНОРОДНОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО ОБМЕНА ДЗЯЛОШИНСКОГО

*Пойманов В.Д.*, канд. физ.-мат. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*Vladislav.Poymanow@yandex.ru*

В настоящее время устройства на спиновых волнах способны успешно конкурировать с устройствами классической электроники [1]. Интерес к ним объясняется двумя основными причинами. Во-первых – передача сигналов с помощью спиновых волн не связана с переносом заряда, а следовательно – более энергоэффективна. Во-вторых – малая скорость спиновых волн (на пять порядков меньшая скорости света) позволяет существенно уменьшить размеры устройств на тех же рабочих частотах.

Подобно тому, как для функционирования электронного прибора требуется создать напряжение на соответствующей схеме, магнитные также нуждаются в источниках спиновых волн. В этой связи актуализируется вопрос наиболее эффективного и простого способа их генерации.

Самый распространённый механизм возбуждения использует для этого микрополосковые меандры. Однако такая технология ограничивает длину генерируемых волн их размером. Другой, в некотором смысле обратный т.н. механизм Шлемана, позволяет использовать уже однородное поле, но при этом требует наличия неоднородностей в самой пленке [2], а длина генерируемой волны оказывается порядка размера неоднородностей. Поэтому в работе [3] был предложен аналогичный шлемановскому механизму способ генерации коротких волн, использующий для этого границу раздела двух магнитных сред. Аналогично в [4] рассматривался способ генерации магнитным слоем. Однако амплитуды генерируемых волн в обе стороны были одинаковы, в то время как с практической точки зрения были бы интересны генераторы-дефлекторы, т.е. – генерирующие волны либо в одну сторону, либо в разные – но с отличающимися амплитудами.

Для этого можно использовать слой с невзаимными свойствами, создав волновод, в котором условия распространения прямой и обратной волн были бы разными. Такой слой, очевидно, должен содержать выделенное направление, что возможно, в частности, в магнетиках с релятивистским обменом Дзялошинского.

Аналогично работе [4], рассмотрим структуру типа В-А-В, где В представляет собой полубесконечную магнитную среду, а А – невзаимный

слой толщиной  $d$ , используя ту же геометрию и обозначения. Основное состояние в каждой из сред предполагается однородным, направленным вдоль нормали к границе также, как и вектор Дзялошинского в среде А. Согласно результатам работы [2], такой слой способен генерировать когерентные спиновые волны в среду В при выполнении условий наличия обменной связи между ними и разности их магнитных восприимчивостей. Частотная зависимость волнового вектора в среде В имеет вид:

$$k_B = \sqrt{M_B \frac{\omega - \gamma(\beta_B M_B + H)}{\gamma A_B}} \quad (1)$$

В слое А, благодаря наличию обмена Дзялошинского-Мория, существует два волновых вектора, соответствующих положительному и отрицательному направлениям распространения:

$$k_{A\pm} = k_A \pm K_D \quad (2)$$

$$k_A = \sqrt{M_A \frac{\omega - \gamma(\beta_A M_A + H)}{\gamma A_A} + K_D^2} \quad (3)$$

где  $K_D = \frac{M_A^2}{A_A} D$ , а  $D$  – константа Дзялошинского.

Поскольку задача имеет аксиальную симметрию, то вводя правополяризованные циклические компоненты в каждом слое  $\mu = \mu_x + i\mu_y$ , получим линеаризованные граничные условия в виде:

$$\begin{aligned} \tilde{\mu}_A - \tilde{\mu}_B &= \left( \frac{\chi_B}{M_B} - \frac{\chi_A}{M_A} \right) h \\ A_A \left( \frac{d\tilde{\mu}_A}{dz} - iK_d \tilde{\mu}_A \right) - A_B \frac{d\tilde{\mu}_B}{dz} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь переменные с волной – нормированные на намагниченность насыщения соответствующей среды функции,  $\mu$  – часть динамической намагниченности, описывающая генерируемые волны, а  $\hat{\chi}$  – динамический тензор восприимчивости.

Решения соответствующих каждой области уравнений Ландау-Лифшица будем искать в виде:

$$\begin{aligned} \tilde{\mu}_{B,L} &= C_{B,L} e^{-ik_B(z + \frac{d}{2})}, & \tilde{\mu}_{B,R} &= C_{B,R} e^{ik_B(z - \frac{d}{2})} \\ \tilde{\mu}_A &= C_{A,R} e^{ik_A z} + C_{A,L} e^{-ik_A z} \end{aligned} \quad (5)$$

Подставляя (5) в граничные условия (4) при  $z = \pm \frac{d}{2}$ , и решая полученную систему, находим коэффициенты рассеяния:

$$\tilde{C}_{B,R/L} = \frac{\cos \sigma \chi - \cos \chi + i(\xi \sin \chi \pm \sin \sigma \chi)}{2 \cos \chi - i \sin \chi \left( \xi + \frac{1}{\xi} \right)} \quad (6)$$

где

$$C_{B,R/L} = \tilde{B}_{B,R/L} \left( \frac{\chi_B}{M_B} - \frac{\chi_A}{M_A} \right) h, \quad \chi = k_A d, \quad \sigma = \frac{K_d}{k_A}, \quad \frac{A_A k_A}{A_B k_B} = \xi \quad (7)$$

Равенство нулю коэффициента  $\tilde{C}_{B,L}$  приводит к условиям:

$$\cos \sigma \chi = \cos \chi, \quad \xi \sin \chi = \sin \sigma \chi \quad (8)$$

Из первого уравнения (10) следует:

$$(\sigma - 1)\chi = 2\pi n, \quad (\sigma + 1)\chi = 2\pi n \quad (9)$$

из которых может выполняться только первое, так как при подстановке второго соотношения (0) второе из условий (8) не выполняется ввиду  $\xi > 0$ . При подстановке же первого имеем  $\xi = 1$ , что дает соответствующую рабочую частоту для такого режима:

$$\omega_0 = \gamma \left( H + \frac{\beta_A A_A M_A^2 - \beta_B A_B M_B^2 - A_A^2 K_d^2}{A_A M_A - A_B M_B} \right) \quad (10)$$

Отметим, что эта частота может меняться внешним полем.

Далее – по найденной частоте находим амплитуду генерации в противоположном направлении:

$$|\tilde{C}_{B,R}| = |\sin \chi| \quad (11)$$

где

$$\chi = d \sqrt{\frac{A_B M_B (M_A (\beta_A M_A - \beta_B M_B) - A_A K_d^2)}{A_A (A_A M_A - A_B M_B)}} \quad (12)$$

не зависит от поля. Эта амплитуда максимальна, если параметры материалов (наиболее просто подбирать толщину) таковы, что  $\chi = \pi \left( \frac{1}{2} + n \right)$ .

Наконец – должно выполняться первое из условий (9), которое при заданных параметрах материала дает уравнение для определения возможных значений  $K_d$ :

$$K_d + \sqrt{\frac{A_B M_B (M_A (\beta_A M_A - \beta_B M_B) - A_A K_d^2)}{A_A (A_A M_A - A_B M_B)}} = \frac{2\pi n}{d} \quad (13)$$

Решая (13), следует подставить результат в (10) и найти значение рабочей частоты, подкорректировав ее до нужного значения внешним полем.

### Список литературы

1. In book: Spin Wave Confinement (Second Edition) – Propagating Waves, Edition: Second Edition, Chapter: Graded magnonic index and spin wave Fano resonances in magnetic structures: Excite, direct, capture / V. V. Kruglyak, C. S. Davies, Y. Au, F. B. Mushenok, G. Hrkac, N. J. Whitehead, S.A.R. Horsley, T. G. Philbin, V. D. Poimanov, R. Dost, D. A. Allwood, B. J. Inkson, A. N. Kuchko. – Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., Editors: S.O. Demokritov. – 2017. – P.11-46.
2. Generation of spin waves in nonuniform magnetic field. I. Conversion of electromagnetic power into spin wave power and vice versa / E. Schlömann // J. Appl. Phys. – 1964. – Vol. 35. – P. 159.
3. Magnetic interfaces as sources of coherent spin waves / V. D. Poimanov, A. N. Kuchko, V. V. Kruglyak / – Ph. Rew. B. – 2018. – Vol. 98. – 104418.
4. Emission of coherent spin waves from a magnetic layer excited by a uniform microwave magnetic field / V. D. Poimanov, A. N. Kuchko, V. V. Kruglyak // – Journal of physics D: Applied physics. – 2019. – V. 52. – 135001.

## АНИЗОТРОПНЫЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНЫЕ ПОРОШКИ

*Полищук В.С.*, д-р техн. наук, *Пересадченко А.Н.*, *Алехов Ю.А.*,  
*Волошанович И.Н.*, *Мищенко А.Г.*

ГУ «НИИ «Реактивэлектрон», г. Донецк, ДНР.

*reaktivelektron@mail.ru*

**Введение.** Способность магнитного поля воздействовать на ферромагнитные тела с силой, достаточной для абразивного резания, позволила создать процесс магнитно-абразивной обработки (МАО), при котором порошковая ферромагнитная абразивная масса, уплотненная энергией магнитного поля, осуществляет абразивное воздействие на обрабатываемую деталь.

Метод МАО вызвал появление нового класса инструментальных материалов – магнитно-абразивных порошков (МАП), обладающих одновременно абразивными и магнитными свойствами. Качество МАП является важнейшим фактором, определяющим производительность процесса МАО и уровень шероховатости обработанной поверхности [1].

Цель работы – исследование физико-механических и эксплуатационных свойств анизотропных композиционных магнитно-абразивных порошков (АКМАП), разработанных и изготовленных в ГУ «НИИ «Реактивэлектрон».

**Основная часть.** В общем случае нормальная составляющая силы резания, от которой зависит глубина внедрения абразивных зерен магнитно-абразивных порошков в обрабатываемый материал есть результат совместного действия магнитных и механических сил. Эффективность абразивного резания определяется не только действующими силами, но также химическим и фазовым составом магнитно-абразивного зерна, твердостью, размером, формой и расположением абразивных частиц в магнитной матрице, формой зерен и геометрией их вершин и кромок. Изменяя указанные параметры, можно в значительных пределах управлять свойствами этих порошков, что открывает широкие возможности в повышении эффективности МАО.

На каждое зерно ферромагнитного порошка, помещенного в рабочее пространство между обрабатываемой деталью и полюсами магнита, со стороны магнитного поля действует сила  $F_m$ , которая зависит от магнитной проницаемости материала, объема ферромагнитного зерна, магнитной индукции градиента магнитной индукции в точке пространства, где расположено зерно.

Если зерно порошка имеет удлиненную форму (например, эллипсоида), то на него, кроме силы  $F_m$ , действует момент магнитных сил  $M_m$ , (рис. 1).

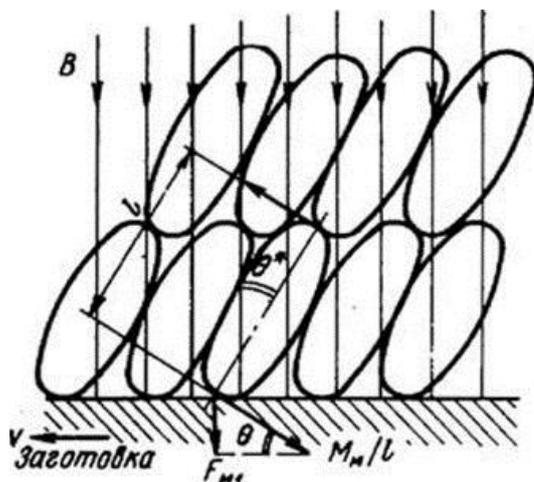


Рис. 1. Магнитные силы  $F_{M1}$ , возникающие при стремлении удлиненных зерен ориентироваться вдоль силовых линий магнитного поля

В этом случае роль  $M_M$  будет выражаться в следующем. Каждое зерно вытянутой формы под действием  $M_M$  стремится развернуться вдоль силовых линий поля, однако окружающая порошковая среда и сила трения с движущейся поверхностью заготовки препятствуют переориентации зерна.

При этом со стороны вытянутого зерна на порошковую среду и поверхность заготовки будет действовать дополнительная магнитная сила.

$$F_{M1} = M_M \sin \frac{\theta}{l}$$

где  $\theta$  – угол между направлениями наибольшей оси эллипсоида и внешнего поля,  $l$  – длина его наибольшей оси [2].

Из литературы известно, что величина механических напряжений в магнитно-абразивной массе в рабочей зоне тесно связана с удельной плотностью свободно насыпанного порошка и относительной магнитной проницаемостью МАП, но прямая корреляция отсутствует, поскольку большое значение приобретает влияние формы частиц порошка [3].

На сегодня практически отсутствуют работы, в которых изучалась бы связь основных эксплуатационных свойств МАП от формы и линейно-геометрических размеров зерен.

Для исследования свойств анизотропных магнитно-абразивных порошков в ГУ «НИИ «Реактивэлектрон» разработана технология изготовления анизотропных композиционных МАП (АКМАП) и методики исследования их физико-механических и эксплуатационных свойств.

В данной работе приведены результаты исследования АКМАП на проволочной магнитной основе с поверхностным расположением абразива. Порошок состоит из магнитной основы (отрезок проволоки диаметром 125 мкм) покрытой с помощью связующего на основе эпоксидной смолы абразивом из карбида титана (30 % TiC фракция 5-7 мкм и 70% магнитная основа).

На лабораторной установке для нарезки проволочных стержней изготовлены стержни магнитной основы диаметром 125 мкм и длиной

0,125 мм, 0,25 мм, 0,5 мм, 1 мм, что соответствует коэффициенту анизотропии формы частиц (отношению длины к диаметру)  $K_a = 1,2,4,8$  соответственно.

Магнитно-абразивная обработка образца диаметром 10 мм из Ст. 45 производилась на установке на постоянных магнитах с полюсными наконечниками при следующем оптимальном режиме: линейная скорость поверхности образца – 1,31 м/сек, частота осцилляции – 7 Гц, амплитуда осцилляции – 3 мм. Время МАО – 60 сек.

В результате исследований установлено, что существует корреляция между удельным съемом материала ( $\text{мг}/\text{см}^2$ ) с поверхности образца при МАО и удельным насыпным объемом ( $\text{см}^3/\text{г}$ ) АКМАП (рис. 2).

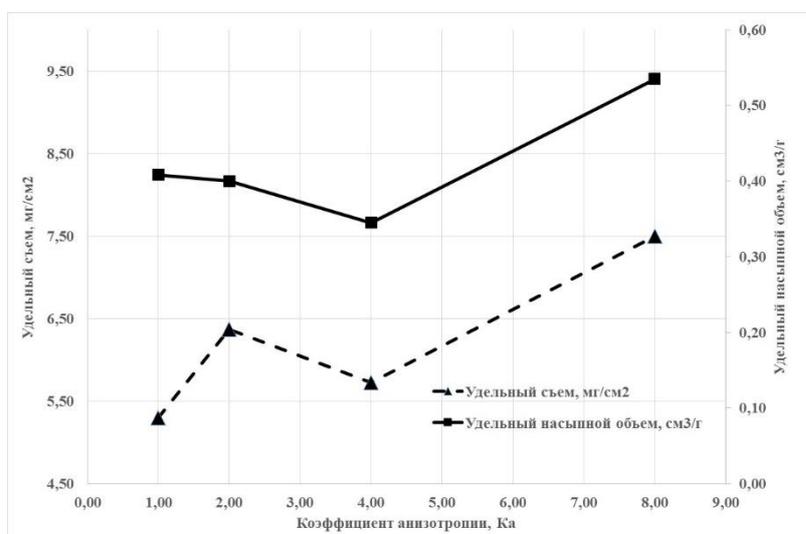


Рис. 2. Зависимость удельного съема материала при МАО, удельного насыпного объема АКМАП от коэффициента анизотропии формы частиц

**Заключение.** Выявлена корреляция между удельным съемом материала при МАО и удельным насыпным объемом разработанных и изготовленных в ГУ «НИИ «Реактивэлектрон» АКМАП. Изучение анизотропных магнитно-абразивных порошков открывает перспективный путь для получения МАП с улучшенными эксплуатационными свойствами.

### Список литературы

1. Полищук В. С. Интенсификация процессов получения карбидов, нитридов и композиционных материалов на их основе / В. С. Полищук. – Севастополь: Вебер, 2003. – 327 с.
2. Барон Ю. М. Физические основы работы магнитно-абразивных материалов / Ю. М. Барон // В сб. «Магнитно-абразивные материалы и методы их испытаний». Институт проблем материаловедения АН УССР. – Киев, 1980. – 119 с.
3. Степанов О. В. Исследование процесса формирования магнитно-абразивного порошкового инструмента для обработки деталей сложной формы. Дисс. канд. техн. наук: 05.16.06, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт». – Киев, 1997 – 260 с.

## ВЛИЯНИЕ ОДНОРОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛЯРИТОННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В НЕИДЕАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКЕ МИКРОПОР

*Рыбалка А.Е., Федоров С.А.*, канд. физ.-мат. наук,  
*Румянцев В.В.*, д-р физ.-мат. наук, проф.

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
*rybalka96@inbox.ru*

**Введение.** Среди задач, которые приходится решать при создании новых нанокompозитных материалов, как источников когерентного излучения, и устройств, работающих на их основе, встает проблема изучения особых систем – поляритонных структур [1]. Последние представляют собой отдельный класс фотонных кристаллов [2], в которых реализуется сильная связь квантовых возмущений электронной подсистемы (экситонов) среды и оптического поля. Необходимость исследования поляритонных систем порождает новую область науки – поляритонику, как самостоятельный раздел фотоники. В качестве поляритонных структур могут рассматриваться пространственно периодические системы связанных микропор (резонаторов), содержащих квантовые точки (атомарные нанокластеры).

Важные особенности обсуждаемых поляритонных структур связаны с так называемым «медленным» светом [3] фундаментальным физическим явлением, которое может быть использовано при проектировании различных квантово-оптических запоминающих устройств. В частности, эффективное снижение групповой скорости продемонстрировано в соответствующих оптических волноводных резонаторах [4].

Цель работы – в рамках приближения виртуального кристалла изучить особенности влияния структурных дефектов и однородной упругой деформации на скорость распространения поляритонных возбуждений в неидеальной 1D решетке цепочке пор (туннельно связанных микрорезонаторов, содержащих атомарные нанокластеры).

**Основная часть.** В качестве модельной системы рассмотрим одно-подрешеточную цепочку одинаковых пор, случайным образом содержащих квантовые точки двух типов с концентрациями соответственно  $C_c^{(1)}$  и  $C_c^{(2)}$ , которая находится в условиях одноосного напряжения (сжатие или растяжение), направленного вдоль оси цепочки. При однородном деформировании исследуемого массива, которое описывается с помощью тензора деформации  $\hat{\varepsilon}$ , положение каждой микропоры меняется. Для таких деформаций постоянная  $d(\varepsilon)$  1D решетки имеет вид:  $d(\varepsilon) = (1 + \varepsilon)d_0$ , где –  $d_0$  постоянная решетки недеформированной структуры,  $\varepsilon$  соответствующую

щая компонента тензора  $\hat{\varepsilon}$ . Микропоры-резонаторы случайным образом удалены на расстояниях между ближайшими соседями либо  $a_1(\varepsilon)$  с концентрацией  $C_T^{(1)}$ , либо  $a_2(\varepsilon)$  с концентрацией  $C_T^{(2)}$ . При этом учтем, что  $C_C^{(1)} = 1 - C_C^{(2)} \equiv C_C, C_T^{(1)} = 1 - C_T^{(2)} \equiv C_T$ .

Расчет собственных значений усредненного гамильтониана системы проведен путем его диагонализации с помощью применения преобразования Боголюбова-Тябликова, с использованием теоретической модели [5] и приближения виртуального кристалла. Выполнение указанной процедуры, позволило получить выражение для дисперсионного соотношения  $\Omega(\vec{k})$ , определяющего спектр элементарных возбуждений, а затем и соотношение для групповой скорости  $V(\vec{k})$  распространения поляритонных возбуждений в исследуемой системе:  $V(\vec{k}) = \partial\Omega(\vec{k})/\partial\vec{k}$ .

На рис. 1 представлен график зависимости групповой скорости  $V_{\pm}(k, C_1, C_2, \varepsilon)$  поляритонных возбуждений в исследуемой неидеальной структуре от концентрации  $C_C, C_T$  дефектов и параметра деформации  $\varepsilon$ .

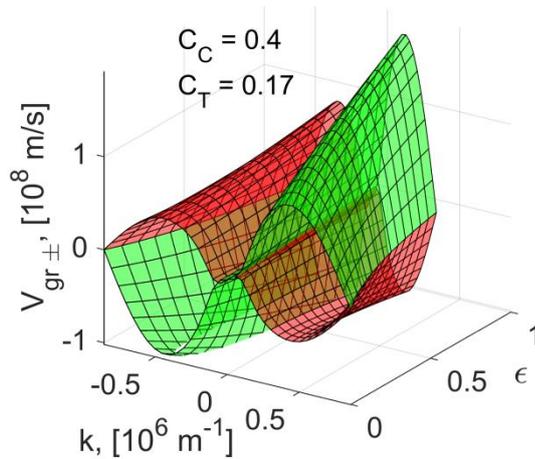


Рис. 1. Зависимость групповой скорости  $V_{\pm}(k, C_1, C_2, \varepsilon)$  поляритонных возбуждений в исследуемой неидеальной структуре от концентрации  $C_C, C_T$  дефектов и параметра деформации  $\varepsilon$

Анализ дисперсионного соотношения  $\Omega(k, C_C, C_T, \varepsilon)$ , приведенного в [5], показывает, что при наличии деформации в исследуемой структуре минимум функции  $\Omega_{\pm}(k, C_1, C_2, \varepsilon)$ , при котором групповая скорость  $V_{\pm}(k, C_1, C_2, \varepsilon) = 0$ , для  $k \neq 0$  достигается не для любых значений концентраций (в отличие от рассмотренной в [5] системы при отсутствии деформации). На рис. 2 указаны критические значения  $C_{C_0}, C_{T_0}$  концентраций структурных дефектов, отражающие этот факт.

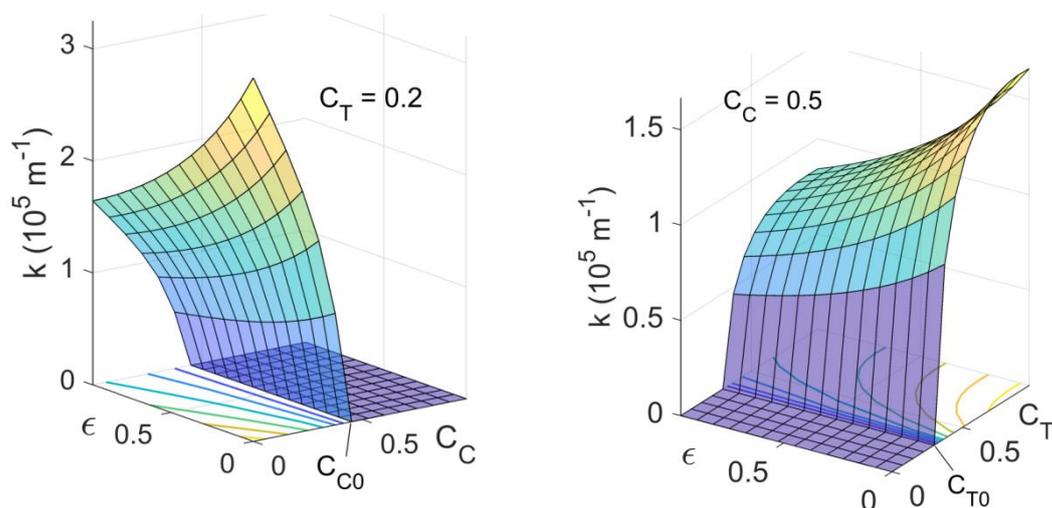


Рис. 2. Зависимость  $k(C_C, C_T, \epsilon)$ ,  $C_{C_0}, C_{T_0}$  критические значения концентраций структурных дефектов

**Заключение.** Исследованы особенности зависимости групповой скорости поляритонов от концентрации структурных дефектов и однородной деформации в модельной неидеальной пористой структуре. Представленные результаты открывают возможность создания нового класса нанокompозитных пористых материалов поляритонных систем, позволяющих контролировать распространение электромагнитных возбуждений в таких структурах, а, следовательно, и скорость передачи сигнала в соответствующем оптоэлектронном устройстве путем управляемого внедрения в его функциональный элемент структурных дефектов и/или воздействия упругой деформацией.

### Список литературы

1. Sedov E. S. Tunneling-assisted optical information storage with lattice polariton solitons in cavity-QED arrays / E. S. Sedov, A. P. Alodjants, S. M. Arakelian et al. // Rev. A. – 2014. – V. 89. – P. 033828.
2. Joannopoulos J. D. Photonic Crystals. Molding the Flow of Light / J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn, R. D. Meade. – Second Edition. – Princeton: Princeton University Press, 2008. – 395 p.
3. Milonni P. W. Fast Light, Slow Light and Left-Handed Light / P. W. Milonni. Bristol: Institute of Physics Publishing, 2005. 251p.
4. Yang Z. S. Stopping, storing, and releasing light in quantum-well Bragg structures / Z. S. Yang, N. H. Kwong., R Binder and. A. L. Smirl // J. Opt. Soc. Am., B. – 2005. – V. 22. – P. 2144.
5. Romyantsev V.V. Effects of elastic strain and structural defects on slow light modes in a one-dimensional array of microcavities / V. V. Romyantsev., S. A. Fedorov, K. V. Gumennyk, D. A. Gurov, A. V. Kavokin // Superlattices and Microstructures. – 2018. – V. 120. – P. 642-649.

## ПЕРЕСТРОЙКА АТОМНОЙ СТРУКТУРЫ $\text{Vi}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeO}_3$ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО СОСТАВА

*Самойленко З.А.*<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук,

*Ивахненко Н.Н.*<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук, *Пушенко Е.А.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкиной», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
им. Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, ДНР

*yulduz19.77@mail.ru*

**Введение.** Возрастание интереса в последние годы к мультиферроикам вызвано тем, что они обладают двумя или более типами упорядочения. Мультиферроики, обладающие одновременно сегнетоэлектрическим и магнитным упорядочением, имеют возможность управления магнитными и электрическими свойствами. Целью работы было исследование изменений в атомном порядке мультиферроика  $\text{Vi}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeO}_3$  при  $x = 0, 0.1, 0.15, 0.2$  [1, 2].

**Основная часть.** Керамические образцы  $\text{Vi}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeO}_3$  с  $x=0, 0.1, 0.15, 0.2$  получены методом быстрого жидкого спекания [3, 4]. Для дегидратации исходные порошки высокой чистоты  $\text{Vi}_2\text{O}_3$  (99.5%),  $\text{Y}_2\text{O}_3$  (> 99.5 %) и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (> 99.5 %) прокаливались при 180 °С в течение 4h. Смесь порошков в стехиометрическом соотношении измельчали, просеивали (40µm) и прессовали в таблетки диаметром 5mm под давлением  $P=200$  МПа. Полученные прессовки спекали на воздухе при 850 °С в течение 480 s в режиме быстрого нагрева и охлаждения. Нагрев проводили со скоростью 100°С/10s в температурном интервале от комнатной температуры до 770 °С и со скоростью 10 °С/min в интервале от 770 до 850°С. Охлаждали образцы от 850°С до комнатной температуры со скоростью 100°С/10s. Использовали метод рентгеновской дифракции [5].

На дифракционных картинах (рис.) от образцов  $\text{Vi}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeO}_3$  при  $x=0; 0.1; 0.15; 0.2$  видно, что они представляют суперпозицию рассеяния рентгеновских лучей от атомных группировок с различным масштабом упорядочения, а именно: присутствуют узкие дебаевские линии; широкие диффузные максимумы когерентного рассеяния [6] от плоскостей с намечающимся дальним порядком наноразмерного масштаба в расположении атомов; диффузные полосы, полученные в результате когерентного рассеяния от мелких группировок атомов аморфизированной структуры и фон, возникающий в результате некогерентного диффузного рассеяния рентгеновского излучения от разупорядоченно расположенных атомов. Самая яркая линия для образца при  $x=0$  представляет собой суммарный максимум двух фаз (110)-R (R- ромбоэдрическая) и (104)-O (O-

орторомбическая). Рядом с этой линией расположена интенсивная группа из трех линий ( $(\bar{1}10)$ -R + (110)-O, (110)-O, (102)-R+(105)-O), что указывает на взаимодействие атомов в соседних кристаллографических структурах, вызвавших локальную аморфизацию перечисленных групп плоскостей, и проявляется в форме диффузного гало у подошвы соответствующих дифракционных линий и в других углах дифракционной картины аналогично: (310)-R+(128)-O, (103)-R+(134)-O, (311)-R+(226)-O.

При введении в состав керамики иттрия в концентрации  $x=0.1$  на дифракционной картине основной интерференционный максимум также принадлежит двум фазам (110)-R и (104)-O. При этом рядом с этим максимумом расположена группа из линий ( $(\bar{1}10)$ -R+(110)-O, (110)-O, (102)-R+(105)-O, (111)-R+(006)-O), основания которых перекрылись в виде гало, свидетельствующем об аморфизации в данной структурной группе плоскостей; подобная локальная аморфизация произошла и в большеугловой группе плоскостей, а именно: (310)-R+(128)-O, (103)-R+(134)-O, (311)-R+(226)-O.

С увеличением концентрации иттрия до  $x=0.15$  в образце наблюдается смещение основного интерференционного максимума в сторону меньших углов, соответствующего фазе (201)-R, слившейся в единую группу с суммарным максимумом двух фаз –  $(\bar{1}10)$ -R+(110)-O. Данная группа плоскостей (201)-R и  $(\bar{1}10)$ -R+(110)-O совместно с рядом расположенными (112)-O и (102)-R группами плоскостей сформировали аморфизацию описанных структурных групп, что проявляется в виде диффузных гало у оснований соответствующих линий.

При дальнейшем увеличении концентрации иттрия до  $x=0.2$  в составе керамики основной интерференционный максимум принадлежит ромбоэдрической фазе (201)-R, рядом с которым расположены двухфазные отражения (110)-R+(104)-O, (110)-R+(110)-O и (112)-O, основания которых представляют гало, полученное в результате когерентного рассеяния рентгеновских лучей от группировок атомов аморфизированной структуры. Образцы  $Bi_{1-x}Y_xFeO_3$  имеют двухфазную структуру во всем интервале концентраций.

**Заключение.** В результате исследования изменения концентрации иттрия в составе образцов  $Bi_{1-x}Y_xFeO_3$  при  $x=0$ ; 0.1; 0.15; 0.2 установлены закономерности: показан концентрационный фазовый переход ромбоэдрической структуры в орторомбическую с резким изменением их концентраций от равновеликих, близких к 50%, до разновеликих (87% для орторомбической фазы и до 13% ромбоэдрической фазы); определена соответствующая точка фазового перехода для образцов  $Bi_{1-x}Y_xFeO_3$  в интервале от  $x=0.15$  до  $x=0.2$ .

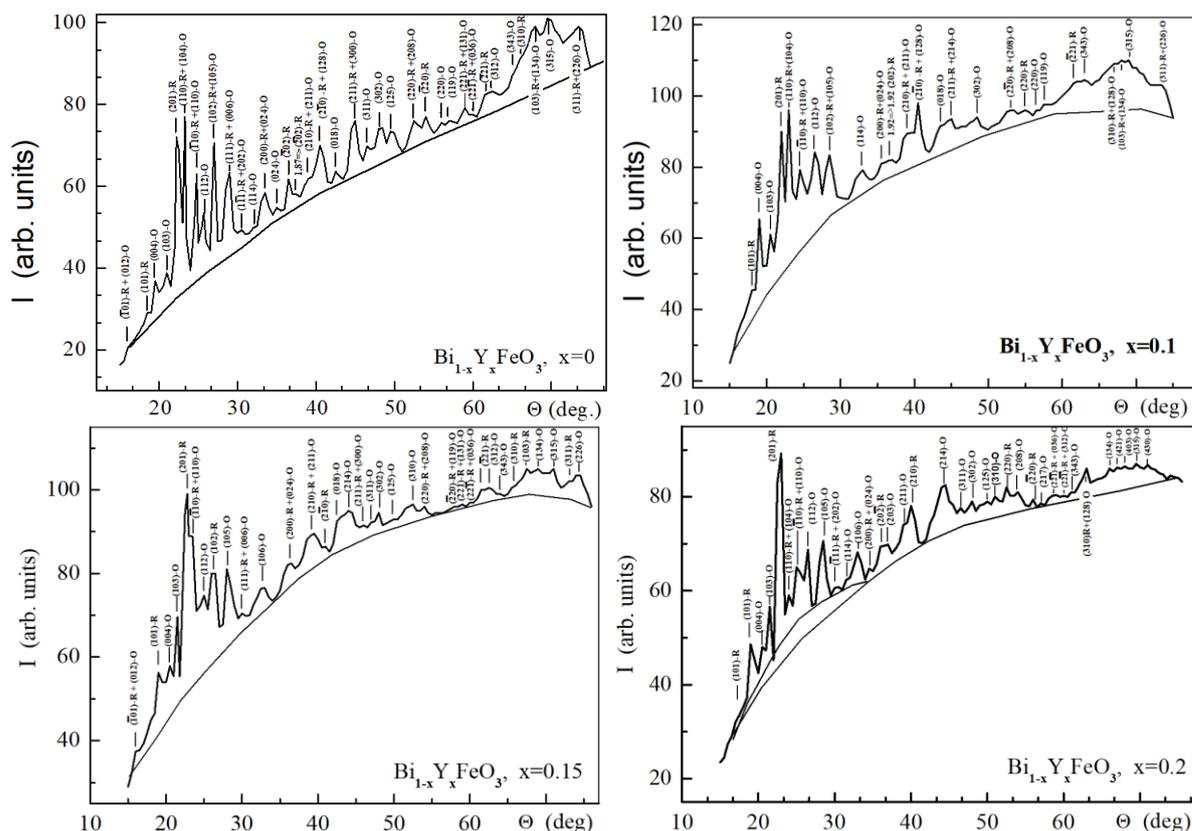


Рис. Дифракционная картина от образца  $\text{Bi}_{1-x}\text{Y}_x\text{FeO}_3$

### Список литературы

1. Eerenstein W. Multiferroic and magnetoelectric materials / W. Eerenstein, N. D. Mathur, J. F. Scott // *Nature*. – 2006. – V. 442. – P. 759-765.
2. Электронное строение монокристаллических феррита висмута и гематита: рентгеноэлектронное исследование и расчет / А. Т. Козаков [и др.] // *Физика твердого тела*. – 2007. – Т. 53. – №1. – С. 41-47.
3. Liquid-phase sintered bismuth ferrite multiferroics and their giant dielectric constant / Liedienov N.A. [et al] // *Ceram. Int*. 2019. – V. 45. – No. 12. – P. 14873 – 14879.
4. Structure, non-stoichiometry, valence of ions, dielectric and magnetic properties of single-phase  $\text{Bi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_{3-\delta}$  / A. V. Pashchenko [et al.] // *J. Magn. Magn. Mater.* – 2019. – V. 483. – P. 100 – 113.
5. Самоорганизация размерного и концентрационного разнообразия в кластеризованной структуре пленок  $\text{CN}_x$ :  $\text{Eu}_y\text{O}_z$  / З. А. Самойленко [и др] // *Журнал технической физики*. – 2020. – Т. 90, № 2. – С. 318-324.
6. Кривоглаз М. А. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов на флуктуационных неоднородностях в неидеальных кристаллах / М. А. Кривоглаз. – Киев: Наук. думка, 1984. – 281 с.

## ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЕ МАГНИТООДНООСНОЙ ПЛЕНКИ ФЕРРИТА-ГРАНАТА

*Сирюк Ю.А.<sup>1</sup>*, д-р физ.-мат. наук, проф.,

*Безус А.В.<sup>1</sup>*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Бондарь Е.Д.<sup>1</sup>*,

*Кононенко В.В.<sup>2</sup>*, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

*a.bezus@donnu.ru*

**Введение.** В работе изучены спонтанные фазовые переходы в жесткой доменной структуре магнитоодноосной пленки феррита-граната состава  $(YGdTm)_3(FeGa)_5O_{12}$  ( $T_N = 443K$ ,  $T_C = 80K$ ), где  $T_N$  – температура Нееля,  $T_C$  – температура магнитной компенсации. Пленка имеет при комнатной температуре фактор качества  $Q > 5$ . При такой величине фактора качества в доменной границе (ДГ) действием импульсного магнитного поля создаются вертикальные блоховские линии (ВБЛ) [1]. Доменная структура наблюдается благодаря магнитооптическому эффекту Фарадея. Пленка имеет сильную одноосную анизотропию, вследствие чего в широком температурном интервале при  $T > T_C$  наблюдается осевая фаза, т.е. создаются цилиндрические магнитные домены (ЦМД).

Актуальность этой работы в том, что исследования, проведенные в ней, могут быть использованы при создании устройств записи и хранения информации на спинах доменных границ. В данных устройствах возможна одновременная и/или параллельная запись и хранение информации на доменах и на спинах, что существенно может расширить возможности таких устройств. Кроме того, эти исследования могут быть использованы при создании устройств для транспортировки магнитомаркированных биологических частиц. Такие устройства можно использовать для сортировки при разных температурах химических частиц по их размерам.

**Основная часть.** Гексагональная решетка цилиндрических магнитных доменов формируется монополярным импульсным магнитным полем, перпендикулярным плоскости пленки в отсутствие поля смещения, затем поле выключается. Частота и длительность импульсов подбираются экспериментально. Такая решетка является равновесной при температуре формирования [2,3]. Под действием импульсного магнитного поля создаются жесткие доменные границы с большим количеством ВБЛ. Решетка ЦМД формируется при температуре  $T_F$ , при которой намагниченность насыщения пленки максимальна (рис. 1).

Учитывая силы, действующие на доменную границу, и температурные зависимости характеристик пленки, при этой температуре создается максимальное число ВБЛ. При изменении температуры решетка сохраня-

ется в температурном интервале ( $T_1 - T_2$ ) (рис.2) (хотя является уже неравновесной), на обоих концах которого происходят фазовые переходы (ФП).

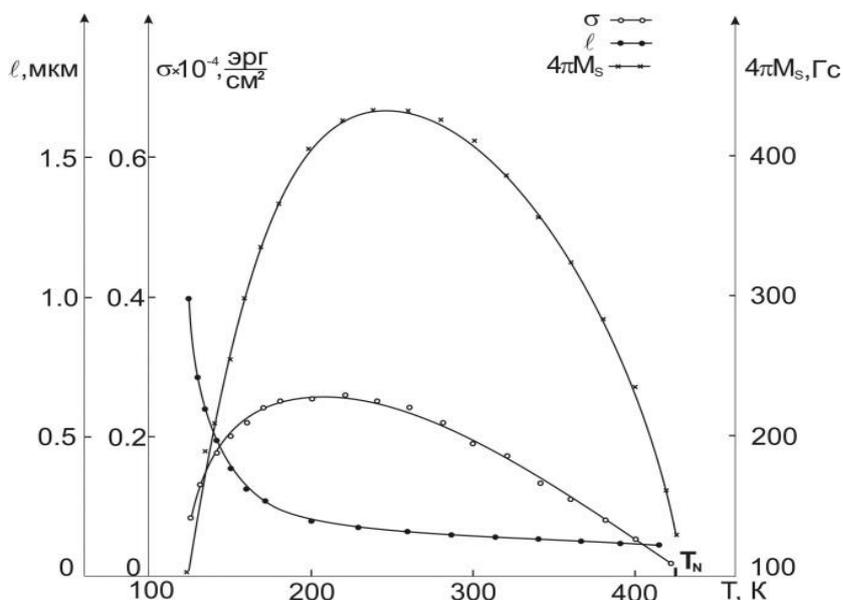


Рис. 1. Температурные зависимости намагниченности насыщения  $4\pi M_S$ , характеристической длины  $l$  и плотности энергии доменной границы  $\sigma$  пленки  $(YGdTm)_3(FeGa)_5O_{12}$

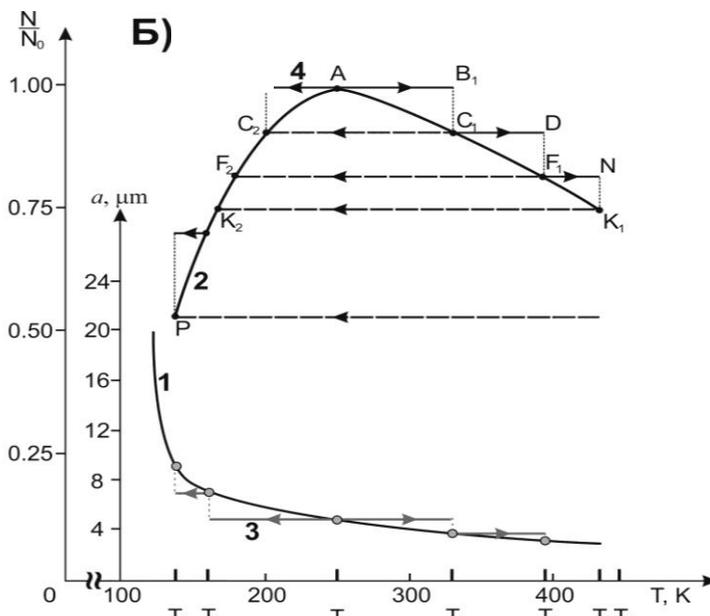


Рис. 2. Температурные зависимости параметров решеток ЦМД пленки: 1– период равновесной решетки ЦМД; 2–  $N/N_0$  ВБЛ в ДГ равновесной решетки ЦМД; 3– период неравновесной решетки ЦМД; 4–  $N/N_0$  ВБЛ в ДГ неравновесной решетки ЦМД

При  $T_1$  ( $T_1 > T_F$ ) в решетке ЦМД происходит ФП первого рода в двухфазную структуру с сохранением числа доменов. Двухфазная структура представляет собой разделенные страйпами блоки новой решетки ЦМД с меньшими параметрами, соответствующими температуре

$T_1$ . Этот ФП вызван фазовым переходом в ДГ. При этом число ВБЛ в доменной границе уменьшилось путем аннигиляции. При  $T_2$  ( $T_2 < T_F$ ) в решетке происходит ФП первого рода в новую решетку ЦМД с уменьшением числа доменов [4]. При этом в ДГ происходит фазовый переход с уменьшением числа ВБЛ путем раскручивания. В исследуемом температурном интервале таких фазовых переходов наблюдается несколько.

**Заключение.** Экспериментально показано, что при изменении температуры пленки в гексагональной решетке ЦМД квантуется как сам домен, так и доменная граница, что было теоретически предсказано в [1]. Температурный интервал устойчивости решетки ЦМД зависит от структуры доменной границы. С уменьшением числа ВБЛ интервал устойчивости решетки ЦМД увеличивается. Решетка с простой блоховской границей наиболее устойчива и сохраняется в широком температурном интервале.

### Список литературы

1. Малоземов А. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами / А. Малоземов, Дж. Слонзуски. – Москва: Мир, 1982. – 384 с.
2. А.С. 1341681 СССР. Способ формирования решетки цилиндрических магнитных доменов в магнитоодноосной пленке / Ю. А. Мамалуй, Ю. А. Сирюк, Г. С. Ярош (СССР). – №4066126; заявл. 05.05.86, опубл. 17.11.87, бюл. №36.
3. А.С. 1461259 СССР. Способ формирования равновесной решетки цилиндрических магнитных доменов / В. А. Заблоцкий, Ю. А. Мамалуй, Ю. А. Сирюк, Г. С. Ярош (СССР). – №4240061; заявл. 09.03.87, не публ. в откр. печати.
4. Сирюк Ю. А. Фазовые переходы в жесткой доменной структуре феррит-гранатовой пленки / Ю. А. Сирюк, А. В. Безус, Е. Д. Бондарь, В. В. Кононенко // ФТТ. – 2019. – Т. 61, вып. 7. – С. 1250-1257.

УДК 537.87, 537.611.45

## ЭЛАСТОДИПОЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В АКУСТИЧЕСКИ СПЛОШНЫХ МАГНИТНЫХ СТРУКТУРАХ

*Сухорукова О.С.<sup>1</sup>*, канд. физ.-мат. наук,

*Тарасенко А.С.<sup>2</sup>*, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

*tos1980@mail.ru*

В современной физике композитных упругих сред широко осуществляется поиск акустических аналогов, характерных для динамики электромагнитных метаматериалов. К их числу принадлежат резонансные поляритонные эффекты [1]. В настоящее время широко изучается поляритонный механизм формирования резонанса Фано. Отдельный интерес представ-

ляют его динамические эффекты [2, 3]. Особое внимание стало уделяться изучению использования слоистых магнитных гетероструктур в качестве основы для создания акустических метаматериалов, которыми можно управлять изменяя соответствующие внешние параметры [4, 5]. В частности, значительный исследовательский интерес вызывает поиск магнито-акустических аналогов указанных выше динамических поляритонных эффектов.

В данной работе на примере плоской сдвиговой объемной упругой волны изучен магнитный вклад в эластодипольный механизм формирования как резонанса Фано.

Пусть имеются два полупространства, занятые идентичным упруго изотропным диэлектриком (соответствующие величины будем обозначать знаком тильда), плотность энергии которого имеет вид ( $\tilde{\lambda}$ ,  $\tilde{\mu}$  – коэффициенты Ламэ,  $u_{ik}$  – тензор упругих деформаций) [6]:

$$F = \frac{\tilde{\lambda}}{2} \tilde{u}_{ii}^2 + \tilde{\mu} \tilde{u}_{ik}^2 \quad (1)$$

а на границе между эти полупространствами расположен слой толщиной  $2d$  и вектором нормали к поверхности  $q // OY$  одноосного гиротропного магнетика, легкая магнитная ось которого  $OZ$  коллинеарна нормали к плоскости падения  $\mathbf{a}$ . Без учета неоднородного обменного взаимодействия упругая динамика подобной магнитной среды с плотностью  $\rho$  может быть описана следующей системой динамических уравнений

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \frac{\partial u_{ik}}{\partial x_k}; \quad \text{div} \mathbf{B} = 0, \quad \text{rot} \mathbf{H} = 0, \quad (2)$$

где  $\bar{\sigma}$  – тензор упругих напряжений,  $\mathbf{B}$  – вектор магнитной индукции,  $\mathbf{u}$  – вектор упругих смещений,  $\mathbf{H}$  – вектор магнитного поля. Пусть у распространяющейся в магнетике акустической волны вектор упругих смещений  $u // OZ$ , а волновой вектор  $k \in XY$  (акустический аналог геометрии Фогта). В результате уже для модели легкоосного (ось  $OZ$ ) ФМ, обладающего изотропным не только упругим ( $\lambda$ ,  $\mu$  – коэффициенты Ламэ), но также МУ и магнитоупругими взаимодействиями материалы соотношения согласно [7] могут быть представлены в виде:

$$\begin{cases} \sigma_{zx} = \bar{c}_{55} \frac{\partial u_z}{\partial x} + i \bar{c}_{54} \frac{\partial u_z}{\partial y} + \beta_{15} H_x - i \beta_* H_y \\ \sigma_{zy} = \bar{c}_{44} \frac{\partial u_z}{\partial x} - i \bar{c}_{45} \frac{\partial u_z}{\partial x} + \beta_{15} H_y + i \beta_* H_x \\ B_x = \mu_{\perp} H_x - i \mu_* H_y - 4\pi \beta_{15} \frac{\partial u_z}{\partial x} + 4\pi i \beta_* \frac{\partial u_z}{\partial y} \\ B_y = \mu_{\perp} H_y + i \mu_* H_x - 4\pi \beta_{15} \frac{\partial u_z}{\partial y} - 4\pi i \beta_* \frac{\partial u_z}{\partial x} \end{cases} \quad (3)$$

где  $\mu_{\perp}$  и  $\mu_*$  – соответственно диагональная и недиагональные компоненты тензора магнитной проницаемости,  $c_{44} = c_{55} = \mu c_{\perp}$ ,  $c_{45} = c_{54} = \mu c_*$  и  $\beta_{15}$ ,  $\beta_*$  – соответственно динамические упругие и магнитоупругие модули, рассматриваемой ФМ среды.

Таким образом, в рамках пьезомагнитного подхода среду со структурой уравнений связи подобной (3) можно рассматривать как обладающую не только «нормальным» [8], но и динамическим [9] пьезомагнитным взаимодействием.

Пусть из немагнитной упругоизотропной среды (1) на поверхность рассматриваемого магнитного слоя среды (2)–(3) падает плоская сдвиговая объемная упругая волна с  $\mathbf{u} \parallel \mathbf{a}$ , единичной амплитудой и заданными значениями частоты  $\omega$  и угла падения.

Для падающей извне на поверхность ФМ слоя сдвиговой плоской упругой волны  $SH$ -типа ( $k \in XY$ ,  $q \parallel OY$ ,  $m_0 \parallel u \parallel OZ$ ) структуру амплитудного коэффициента прохождения  $W_{SH}(\omega, h)$ , можно представить как

$$W_{SH} = \frac{i2\tilde{Z}_{SH}}{i\tilde{Z}_{SH}(T_{11}+T_{22})-T_{21}+\tilde{Z}_{SH}^2T_{12}}.$$

В этом случае, как показывает расчет, становится принципиально возможным формирование акустического аналога асимметричного резонанса (резонанса Фано). В частности, условию полной акустической непроницаемости рассматриваемого магнитного слоя для сдвиговой объемной волны ( $W_{SH} = 0$ ) отвечают сочетания частоты и продольного волнового числа удовлетворяющие  $Q_{11}Q_{22} = Q_{12}Q_{21}$ . Акустический аналог эффекта коллапса резонанса Фано реализуется при таких сочетаниях  $\omega$  и  $h$ , для которых одновременно обращаются в нуль и числитель  $W_{SH}$  (в частности, возможно, если при  $\eta_{SH}^2 < 0$  выполнено также условие  $sh(2\eta_{SH}d) = 0$ ).

### Список литературы

1. Zangeneh-Nejad F. Active times for acoustic metamaterials / F. Zangeneh-Nejad, R. Fleury // Rev. Phys. – 2019. – Vol. 4, 100031. – P. 1-17.
2. Kavokin A. V. Micro cavities / A. V. Kavokin, J. J. Baumberg, G. Malpuech, F. P. Laussy // 2-nd ed., Oxford University Press, N.Y. – 2017. – P. 608-623.
3. Рыбин М. В. Резонансные эффекты в фотонных кристаллах и метаматериалах / М. В. Рыбин, М. Ф. Лимонов // УФН. – 2019. – Т. 189. – С. 881-898.
4. Yu K. Magnetoactive Acoustic Metamaterials акустические метаматериалы / К. Yu, N. X. Fang, G. Huang // Adv. Mater. – Vol. 30. – 1706348. – 2018. – P. 1-10.
5. Стрейтроника – новое направление микро- и наноэлектроники и науки о материалах / А. А. Бухараев [и др.] // УФН. – 2018. – Т. 188. – С. 1288-1330.
6. Исакович М. А. Общая акустика / М. А. Исакович. – Москва: Наука, 1973. – 463 с.
7. «Потерянные» ветви в спектре волны Парека / О. В. Приходько [и др.] // Письма в ЖЭТФ. – 2012. – Т. 95. – С. 733-737.
8. Дзялошинский И. Е. К вопросу о пьезомагнетизме / И. Е. Дзялошинский // ЖЭТФ. – 1957. – Т. 33. – С. 807-809.
9. Лаптева Т. В. Новый механизм эффекта Шоха в немагнитных диэлектриках / Т. В. Лаптева, С. В. Тарасенко, В. Г. Шавров // Письма в ЖЭТФ. – 2007. – Т. 85. – С. 751-755.

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ $\text{Co}_x(\text{PZT})_{100-x}$

*Тарасов Д.П.*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Толкачев Т.А.*

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*demetriys@mail.ru*

Стремительно развивающаяся электронная техника ставит перед современной наукой задачи создания и исследование материалов с комплексом необычных физических свойств. К таким материалам, интенсивно изучаемым в последние десятилетие, относятся гранулированные композиты, состоящие из металлических ферромагнитных наночастиц, расположенных в диэлектрической матрице [1-4]. Очевидно, что композиты, имея наногранулированную структуру, будут также характеризоваться определенными магнитными свойствами, отличающимися от свойств гомогенных массивных материалов.

В качестве материала для формирования металлических частиц в гранулированных композитах использовался Co, испытывающий переход в ферромагнитную фазу ниже 1394 К. Диэлектрическую матрицу формировали на основе известного сегнетоэлектрического соединения  $\text{PbZrTiO}_3$ , в котором переход в полярную фазу реализуется около 573 К. Нанокompозиты  $\text{Co}_x(\text{PZT})_{100-x}$  были получены методом ионно-лучевого распыления составной мишени на подложку из ситалла. Мишень представляла собой пластину из кобальта размером  $280 \times 80 \times 10$  mm, на поверхности которой были укреплены навески керамики PZT размером  $80 \times 10 \times 2$  mm. Применение мишени такой конструкции позволило в одном технологическом цикле получить композиционный материал в виде пленки и толщиной около 3  $\mu\text{m}$ , содержащей от 22 до 76 ат. % металлической фазы в зависимости от взаимного расположения подложки и мишени. Исследование магнитных свойств системы наногранулированных композиционных материалов  $\text{Co}_x(\text{PZT})_{100-x}$  проводили при помощи вибрационного магнетометра.

На рис. 1 приведены кривые намагниченности наногранулированных композитов  $\text{Co}_x(\text{PZT})_{100-x}$  находящихся в исходном после напыления состоянии. При содержании металлической фазы  $50 < x < 60$  ат. % на кривой намагниченности отсутствует магнитный гистерезис и не наблюдается выход на насыщение (рис. 1а). Данные факты являются характерными признаками суперпарамагнитного состояния, реализующегося в гранулированных композитах, расположенных до порога протекания. Для образцов композитов  $\text{Co}_x(\text{PZT})_{100-x}$  с содержанием металлической фазы  $x > 60$  ат. %, обладающих ферромагнитным упорядочением, на кривой

намагниченности характерно наличие магнитного гистерезиса с небольшой величиной коэрцитивной силы  $H_C$  (рис. 1b). Для образцов с  $x > 70$  ат. % в эксперименте наблюдается уменьшение значения  $H_C$ . Это связано с тем, что за порогом перколяции ферромагнитные гранулы соприкасаются друг с другом, образуя лабиринтную сетку (рис. 2). В результате между спинами электронов, принадлежащих соседним гранулам, возникает обменное взаимодействие, приводящее к ферромагнитному упорядочению магнитных моментов гранул.

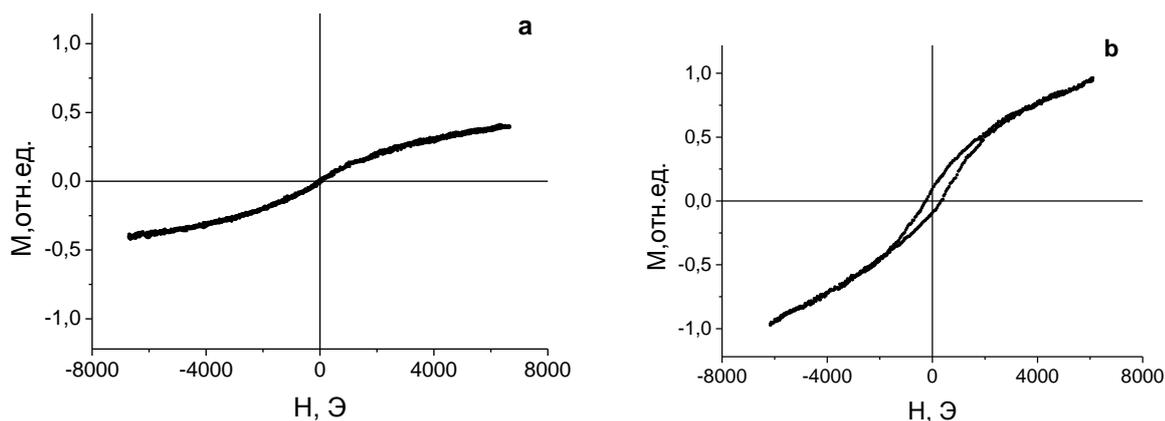


Рис. 1. Кривые намагниченности образцов композитов  $Co_x(PZT)_{100-x}$ , находящихся в исходном состоянии: а –  $Co_{59}(PZT)_{41}$ , б –  $Co_{70}(PZT)_{30}$

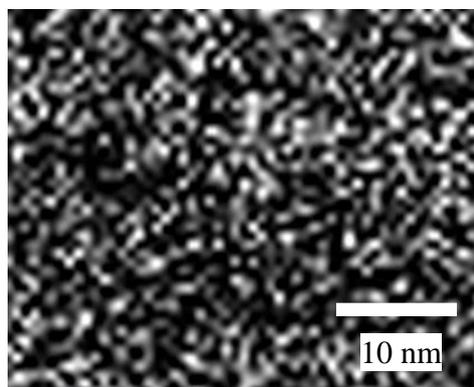


Рис. 2. Микрофотография гранулированного композита  $Co_{71}(PZT)_{29}$

### Список литературы

1. Калинин Ю. Е. Упругие и неупругие свойства нанокompозитов  $(Co_{0.45}Fe_{0.45}Zr_{0.1})_x(Al_2O_3)_{1-x}$  / Ю. Е. Калинин, А. В. Ситников, Д. П. Тарасов // Письма в ЖТФ. – 2008. – Т. 34. – № 11. – С 12-18.
2. Тарасов Д. П. Низкотемпературное внутреннее трение в нанокompозитах  $(Co_{45}Fe_{45}Zr_{10})_x(Al_2O_3)_{100-x}$ ,  $Co_x(CaF_2)_{100-x}$  и  $Co_x(PZT)_{100-x}$  // ЖТФ. – 2017. – Т. 87. – № 9. – С. 1384-1388.
3. Tarasov D. P. / Anelastic Phenomena in  $Co_x(CaF_2)_{100-x}$  Nanocomposites // D. P. Tarasov, L. N. Korotkov, A. V. Sitnikov // Ferroelectrics. – 2010. – V. 397. – № 1. – P. 185-190.
4. Калинин Ю. Е. Аномалии упругих и неупругих свойств композитов ферромагнетик-сегнетоэлектрик / Ю. Е. Калинин, Л. Н. Коротков, А. В. Ситников, Д. П. Тарасов // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35. – № 1. – С. 90-97.

## ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГИИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ АНИОННОЙ ВАКАНСИИ В (100) ПЛАСТИНАХ АНАТАЗА РАЗНОЙ ТОЛЩИНЫ

*Токий Н.В.*<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук,  
*Токий В.В.*<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, проф.

<sup>1</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР,

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*nvt1976@mail.ru*

**Введение.** В настоящее время возрастает интерес к установлению роли наноструктур в управлении технологическими и эксплуатационными свойствами материалов для ключевых научно-технических направлений, которые оказывают наиболее существенное влияние на развитие экономики, в частности, в таких ее секторах, как металлообработка, химическая индустрия, приборостроение, здравоохранение, нефтехимия, металлургия, энергетика, машиностроение, электроника, биотехнологии, телекоммуникации, строительные и промышленные материалы. Развиваемые нами упругий и квантовомеханические подходы моделирования свойств материалов сокращают сроки проектирования и обратного инжиниринга от свойств, срок получения нового материала, то есть до модельных и натуральных испытаний все рассчитать.

Обладая высоким коэффициентом отражения,  $\text{TiO}_2$  широко используется для защиты космических аппаратов от солнечного излучения. Стойкость покрытий определяется наличием кислородных вакансий в диоксиде титана. В последнее время ввиду использования диоксида титана как гетерогенного катализатора [1] повысился интерес к изучению поверхностей диоксида титана со структурой анатаза [2]. В работе [3] нами начато и в [4,5] продолжено теоретическое рассмотрение одного из дефектов, управляющего электрофизическими свойствами (100) пластины анатаза – анионной вакансии. В них представлены изменения полной энергии тонкой (100) пластины анатаза для различных положений анионной вакансии. Расчеты полной энергии для толстой пластины проведены нами в [6]. Анализ изменений полной энергии обнаружил стремление вакансии в приповерхностные слои. Необходимо отметить, что при иллюстрации этого стремления нами в рисунках работ [3, 4, 6] по оси абсцисс пропущены опечатки.

Для установления физического механизма реализации стремления анионной вакансии в приповерхностные слои (100) пластин и определения его активационных параметров, контролирующих структуру и функциональные свойства анатаза, требуются расчеты в ячейках разной толщины и ширины.

**Целью работы** является изучение поведения анионной вакансии в (100) пластинах анатаза различной толщины в рамках квантово-механического подхода методом DFT.

**Модель.** Для изучения поведения анионной вакансии в анатазе нами были построены атомные модели ячеек пластин диоксида титана. Анатаз имеет структуру тетрагональной симметрии (пространственная группа  $I_{41}/amd$ ). В качестве формы ячейки выбран прямоугольный параллелепипед с ребрами  $\vec{a} \times \vec{b} \times \vec{c}$ , длина (в Å) которых составляет:  $a = 27.125$ ,  $b = 3.875$ ,  $c = 9.514$ . Ячейка, моделирующая анионную вакансию в тонкой (100) пластине диоксида титана состоит из 35 атомов, в том числе 12 Ti, 23 O. Для моделирования средней пластины анатаза с вакансией мы использовали ячейку из 47 атомов, в том числе 16 Ti и 31 O. Для моделирования толстой пластины анатаза с вакансией мы использовали ячейку из 59 атомов, в том числе 20 Ti и 39 O.

Моделирование проводили в программе ABINIT [7] с помощью abinit-инструмента (Version 2.8.3) nanoHUB [8]. Реализацию DFT [9] в LDA осуществляли с использованием псевдопотенциалов Troullier-Martins [10] для Ti и O (предлагаемых по умолчанию в пакете ABINIT), а также энергии обрезания для плоских волн 60 Ha.

**Результаты.** Изменения полной энергии для 6-, 8- и 10-слойных (100) пластин диоксида титана со структурой анатаз при смещении анионной вакансии в направлении [100] по равновесным кислородным узлам кристаллической решетки отсчитываемое от середины пластины представлено на рисунке.

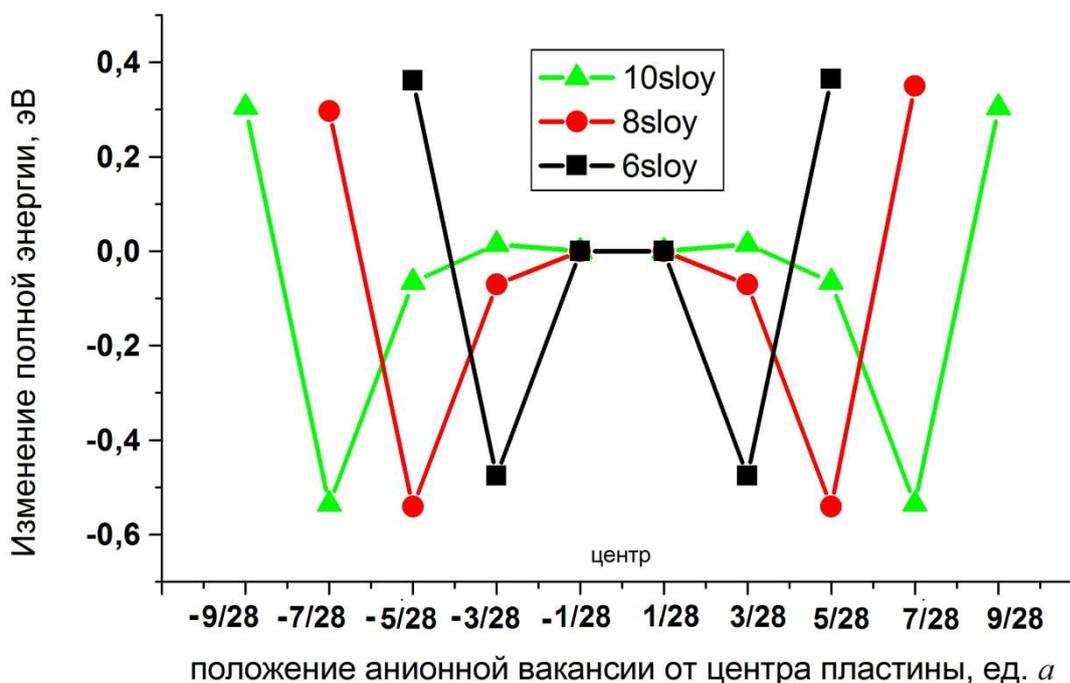


Рис. Изменение полных энергий 6-(■), 8-(●) и 10-(▲) слойных (100) пластин анатаза при смещении анионной вакансии от центра пластины в направлении [100] по равновесным кислородным узлам кристаллической решетки

Проведено сравнение 6-, 8- и 10-слойных (100) пластин анатаза с вакансией. В середине 6-слойных пластин отсутствует изменение полной энергии, включающей в себя энергии  $E_{loc}$  – локального электрон-ионного взаимодействия,  $E_H$  – Хартри валентных электронов,  $E_{Ew}$  – кулоновского ион-ионного взаимодействия,  $E_{nonloc}$  – нелокального электрон-ионного взаимодействия,  $E_{kin}$  – кинетическую,  $E_{xc}$  – обменно-корреляционную энергию валентных электронов, а также  $E_{psp}$  – энергию коррекции ионного остова. В 8-слойных пластинах наблюдается монотонное изменение полной энергии. Анализ изменения полной энергии 10-слойной толстой пластины обнаруживает немонотонное поведение вакансии в срединных слоях, которое приводит к дополнительному барьеру при реализации стремления анионной вакансии в приповерхностный слой из центра пластины.

Построенные модели тонкой 6-слойной, средней 8-слойной и толстой 10-слойной (100) пластин анатаза с анионной вакансией позволяют сократить сроки в установлении оптимальной толщины пластины новых функциональных материалов.

#### Список литературы

1. Pelletier J. D. A. Catalysis by Design: Well-Defined Single-Site Heterogeneous Catalysts / J. D. A. Pelletier, J.-M. Basset // Acc. Chem. Res. – 2016.- 49(4). – P. 664–677.
2. Kashiwaya Sh. The Work Function of TiO<sub>2</sub>/ Sh. Kashiwaya, J. Morasch, V. Streibel, Th. Toupance, W. Jaegermann, A. Klein // Surfaces. – 2018. – V. 1. – P. 73–89.
3. Токий Н. В. Анионная вакансия в 100-пластине анатаза методом DFT / Н. В. Токий, В. В. Токий // Актуальные проблемы прочности: материалы международной научной конференции, Витебск, 25-29 мая 2020 года / под ред. В. В. Рубаника. – Молодечно: Типография «Победа», 2020. – С.224-226.
4. Токий Н. В. Кислородная вакансия в 100 пластине анатаза при гидростатическом давлении / Н. В.Токий, В. В. Токий, Н. А.Гребенюк// Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2020. – № 10 (40). – С. 87-90.
5. Токий Н. В. Кислородная вакансия в 100 пластине анатаза при всестороннем сжатии / Н. В.Токий, В. В.Токий // Материалы V Международной научной конференции «Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности». – Т. 1, Ч. 2. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2020. – С. 141-144.
6. Токий Н. В. Поведение анионной вакансии в (100) пластинах анатаза различной толщины / Н. В.Токий, В. В.Токий, Н. А.Гребенюк // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2021. – № 5 (47). – С. 70-73.
7. <http://www.abinit.org>
8. <http://www.nanohub.org>.
9. Hohenberg P. Inhomogeneous Electron Gas / P. Hohenberg, W.Kohn // Phys. Rev.- 1964. – 136. – B864.
10. Troullier N. Efficient pseudopotentials for plane-wave calculations / N. Troullier, J. L. Martins // Phys. Rev. B. – 1991. – V. 43. – P. 1993.

## ЭНЕРГИЯ РАСШИРЕННОЙ (100) ПЛАСТИНЫ АНАТАЗА С АНИОННОЙ ВАКАНСИЕЙ

*Токий Н.В.*<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук, *Токий В.В.*<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, проф.

<sup>1</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*nvt1976@mail.ru*

**Введение.** Диоксид титана является одним из важнейших современных материалов; он широко используется благодаря высокой стабильности, низкой стоимости, наличию фотокаталитической активности в ультрафиолетовой части солнечного света, сверхсмачиваемости водой и ряду других полезных свойств. Одним из применения анатаза является создание на его основе эффективных фотокатализаторов обеззараживания воды от химических загрязнителей и болезнетворных бактерий, а также для получения водорода [1].

Исходя из зафиксированного в экспериментах факта пребывания в структуре анатаза кислородных вакансий, естественно предположить, что наличие вакансий может являться фактором, способствующим стабилизации примесей.

Для изучения анионной вакансии анатаза ранее нами была построена 35-атомная модель ячейки (100) пластины диоксида титана [2-4].

Целью данной работы является теоретическое рассмотрение анионной вакансии при уменьшении ее концентрации в 2 раза в 71-атомной модели ячейки (100) пластины анатаза.

**Основная часть.** Для изучения анионной вакансии анатаза нами была построена расширенная модель ячейки. Анатаз имеет структуру тетрагональной симметрии (пространственная группа  $I_{41}/amd$ ) [5]. В качестве формы ячейки выбран прямоугольный параллелепипед с ребрами  $\vec{a} \times \vec{b} \times \vec{c}$ , длина (в Å) которых составляет:  $a = 27.125$ ,  $b = 7.750$ ,  $c = 9.514$ . Ячейка, моделирующая анионную вакансию в (100) пластине диоксида титана состоит из 71 атома, в том числе 24 Ti, 47 O.

Моделирование проводили в программе ABINIT [6] с помощью abinit-инструмента (Version 2.8.5) nanoHUB [7]. Реализацию DFT [8] в LDA для энергии обменной корреляции электронов осуществляли с использованием псевдопотенциалов Troullier-Martins [9] для Ti и O (предлагаемых по умолчанию в пакете ABINIT), а также энергии обрезания для плоских волн 40 Ha.

На рис. 1 представлена полная энергия 35-атомной (■) и 71-атомной (●) ячеек (100) пластины анатаза для различных положений анионной вакансии.

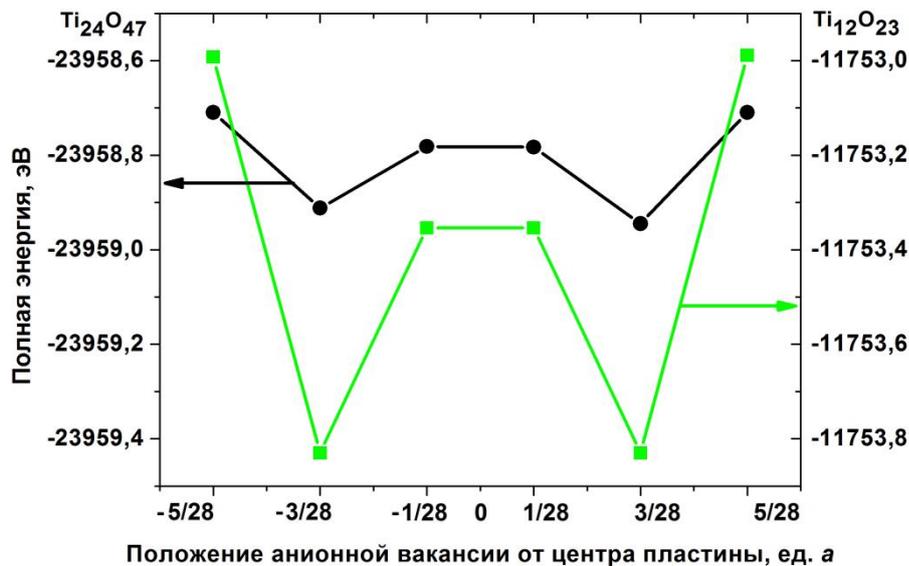


Рис. 1. Полная энергия (100) пластины анатаза для различных положений анионной вакансии

Из рис. 1 видно, что расширение пластины сохраняет стремление анионной вакансии в приповерхностный слой. Следует отметить, что в расширенной пластине концентрации анионных вакансий уменьшается в два раза.

Изменение полной энергии  $E_{tot}$  расширенной (100) пластины диоксида титана со структурой анатаза для различных положений и маршрутов анионной вакансии представлено на рис. 2.

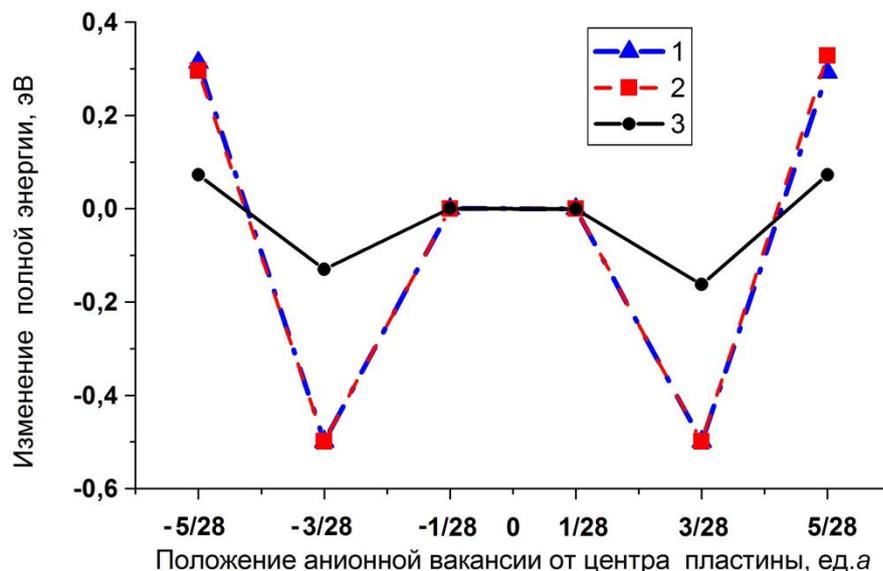


Рис. 2. Изменение полной энергии расширенной ячейки (100) пластины анатаза для различных маршрутов анионной вакансии

Изменение полной энергии отсчитывается от энергии пластины с вакансией в срединных слоях.

В настоящей работе было рассмотрено три маршрута перемещения анионной вакансии по толщине пластины:

1 маршрут – перемещение вакансии по координатам  $(7/14, 3/4, 3/10) \rightarrow (6/14, 3/4, 9/20) \rightarrow (5/14, 3/4, 3/10) \rightarrow (4/14, 3/4, 9/20) \rightarrow (3/14, 3/4, 3/10) \rightarrow (2/14, 3/4, 9/20)$  представлен на рис. 2(▲);

2 маршрут – перемещение вакансии по координатам  $(7/14, 1/4, 3/10) \rightarrow (6/14, 1/4, 9/20) \rightarrow (5/14, 1/4, 3/10) \rightarrow (4/14, 1/4, 9/20) \rightarrow (3/14, 1/4, 3/10) \rightarrow (2/14, 1/4, 9/20)$  представлен на рис. 2(■);

3 маршрут – перемещение вакансии по координатам  $(7/14, 1/2, 11/20) \rightarrow (6/14, 1/2, 1/5) \rightarrow (5/14, 1/2, 11/20) \rightarrow (4/14, 1/2, 1/5) \rightarrow (3/14, 1/2, 11/20) \rightarrow (2/14, 1/2, 1/5)$  представлен на рис. 2(●).

**Заключение.** Установлено, что расширение пластины сохраняет стремление анионной вакансии в приповерхностный слой, не смотря на изменение концентрации анионных вакансий в 2 раза. Обнаружено, что термодинамические параметры зависят от маршрута реализации этого стремления.

Для установления физического механизма реализации стремления анионной вакансии в приповерхностный слой и определения его активационных параметров потребуются дальнейшие первопринципные квантово-механические расчеты для различных маршрутов.

### Список литературы

1. Жуков В. П. Первопринципные термодинамические характеристики образования кислородных вакансий и примесных центров бора, углерода и азота в анатазе / В. П. Жуков, И. Р. Шеин // ФТТ. – 2018. – Т. 60, №1. – С. 39-49.
2. Токий Н. В. Анионная вакансия в 100-пластине анатаза методом DFT/ Н. В. Токий, В. В. Токий // Актуальные проблемы прочности: материалы международной научной конференции, Витебск, 25-29 мая 2020 года / под ред. В. В. Рубаника. – Молодечно: Типография «Победа», 2020. – С. 224-226.
3. Токий Н. В. Кислородная вакансия в 100 пластине анатаза при гидростатическом давлении / Н. В.Токий, В. В.Токий, Н. А.Гребенюк // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2020. – № 10 (40). – С. 87-90.
4. Токий Н. В. Кислородная вакансия в 100 пластине анатаза при всестороннем сжатии/ Н. В.Токий, В. В. Токий // Материалы V Международной научной конференции «Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности». – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2020. –Т. 1, Ч. 2. – С. 141-144
5. Токий Н. В. Гидроксильная поверхность (100) пластины анатаза методом DFT / Н. В. Токий, В. В.Токий// ФТВД. – 2020. – Т. 30, №1. – С. 58-65.
6. <http://www.abinit.org>
7. <http://www.nanohub.org>.
8. Hohenberg P. Inhomogeneous Electron Gas/ P. Hohenberg, W. Kohn // Phys. Rev. – 1964. – 136. – B864.
9. Troullier N. Efficient pseudopotentials for plane-wave calculations / N. Troullier, J.L. Martins// Phys. Rev. B. – 1991. – V. 43. – P. 1993.

## ЗАПРЕЩЁННАЯ ЗОНА ТЕТРАГОНАЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

*Хачатурова Т.А.*, канд. физ.-мат. наук,

*Бутько В.Г.*, канд. физ.-мат. наук,

*Гусев А.А.*, канд. физ.-мат. наук, доц.

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

*khachaturovat@mail.ru*

Диоксид кремния вызывает повышенный интерес у исследователей, занимающихся созданием новых устройств современной твёрдотельной электроники, благодаря тому, что  $\text{SiO}_2$  является базовым соединением в полевых транзисторах, туннельных диодах и других управляемых ёмкостных устройствах [1-5]. Однако, несмотря на большое количество работ, авторы которых экспериментально и теоретически исследовали диэлектрические свойства диоксида кремния, параметры его электронной структуры в настоящее время не определены. Это связано с тем, что диоксид кремния имеет ряд различных пространственных форм: тетрагональная, кубическая, гексагональная, тригональная [6, 7]. Авторы данной статьи проводят *ab initio* расчёт ширины запрещенной зоны объёмного диоксида кремния для тетрагональной модификаций его пространственной структуры.

Электронная структура  $\text{SiO}_2$  рассчитывались в рамках теории функционала плотности методом проекционных присоединенных волн (PAW) [8], программный пакет VASP (Vienna *ab initio* simulation package). Для обменно-корреляционного потенциала использовалось обобщенное градиентное приближение (generalized gradient approximation (GGA)) в виде, предложенном Perdew–Burke–Ernzenhof [9]. В качестве псевдопотенциалов использовались стандартные псевдопотенциалы VASP. Число разбиений при интегрировании по неприводимой части зоны Бриллюэна в расчетах выбиралось равным 22, а использованный максимальный волновой вектор в наборе плоских волн соответствует энергии 400 эВ. В результате проведения самосогласованных расчетов находили оптимизированные позиции всех атомов и полную энергию системы, а затем рассчитывали зонную структуру соединения, плотность электронных состояний и т.д. Полученные результаты уточнялись дополнительными расчетами с помощью функций Грина (GW) [10].

Строение тетраэдрических модификаций оксида кремния описывается октаэдрическим правилом Мота [11, 12]. На рис. 1 представлена тетрагональная модификация диоксида кремния:  $\alpha$ -кристобаллит. В этой модификации атом кремния окружен четырьмя

атомами кислорода. Расчёты показывают, что для  $\alpha$ -кристобаллита ширина запрещённой зоны составляет  $E_G=7.91$  эВ.

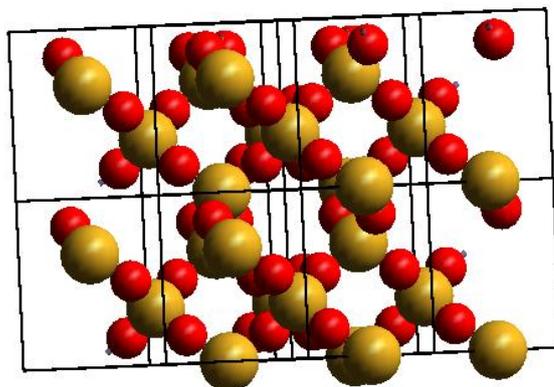


Рис. 1. Тетрагональная модификация диоксида кремния

Однако, существует еще одна, тетрагональная модификация диоксида кремния, которая не описывается правилом Мота [12] – стишовит. Она отличается тем, что имеет самую плотную упаковку атомов кремния и кислорода. В стишовите каждый атом кремния окружён шестью атомами кислорода, а каждый атом кислорода координирован тремя атомами кремния, пространственная структура приведена на рис. 2.

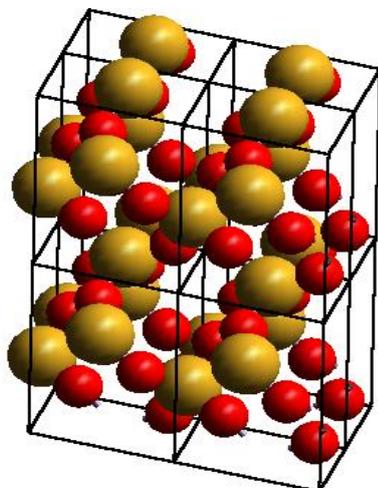


Рис. 2. Стишовит, параметры ячейки:  $a=b=0.4179$  нм,  $c=0.2665$  нм.

Численные расчёты показали, что ширина запрещенной зоны стишовита:  $E_G=8.28$  эВ. Пространственная структура стишовита наиболее близка к аморфной модификации, которая наблюдается на экспериментах с многослойными проводящими структурами, в которых диоксид кремния выступает подбарьерным диэлектриком [13]. Анализ представленных расчетов показал, что ширина запрещённой зоны тетрагональной модификации диоксида кремния принимает различные значения. На основании этого можно сделать вывод о том, что ширина запрещенной зоны диоксида кремния  $E_G$  является относительной величиной, а не

абсолютной, что необходимо учитывать при создании туннельных структур с использованием многослойного диэлектрика [2, 13].

### Список литературы

1. Wilk G. D. High- $\kappa$  gate dielectrics: Current status and materials properties considerations / G. D. Wilk, R. W. Wallace, J. M. Anthony // *J. Appl. Phys.* – 2001. – V. 89, N. 10. – P. 5243.
2. Robertson J. High- $\kappa$  materials and metal gates for CMOS applications / J. Robertson, R.W. Wallace.// *Mater. Sci. Eng. R* – 2015. – V. 88. – P. 1-41.
3. Yang N. A physical model for hole direct tunneling current in p poly-gate pMOSFETs with ultrathin gate oxides / N. Yang W.K. Henson, J.R. Hauser, J.J. Wortman et al // *IEEE Trans. Electron Devices.* – 2000. – Vol. 47. – P. 2161–2166.
4. Mihaychuk J. G. Broad-spectrum light emission at microscopic breakdown sites in metal-insulator-silicon tunnel diodes / J. G. Mihaychuk, M. W. Denhoff et al // *J. Appl. Phys.* – 2005. – V. 98, N.5. – P. 054502.
5. Векслер М. И. Моделирование туннельного переноса электронов в системе полупроводник-кристаллический диэлектрик-Si(111) / М. И. Векслер // *ЖТФ.* – 2018. – Т. 52, вып. 8. – С. 900-905.
6. Некрашевич С. С. Электронная структура оксида кремния / С. С. Некрашевич, В. А. Гриценко // *Физика твердого тела.* – 2014. – Т. 56, вып. 2. – С. 209-222.
7. Стишов С. М. Новая плотная полиморфная модификация кремнезема / С. М. Стишов, С. В. Попова // *Геохимия* – 1961. – Т. 10. – С. 837-839.
8. Kresse G. Ab initio molecular dynamics for open-shell transition metals / G. Kresse, and J. Hafner // *Phys. Rev.*, B – 1993. – V. 48, N. 17. – P. 13115-13118.
9. Perdew J. P. Generalized Gradient Approximation Made Simple / J.P. Perdew, S. Burke, and M. Ernzerhof // *Phys. Rev. Lett.*, – 1996. – V. 77, N. 7. – P. 3865.
10. Shishkin M. Self-consistent GW calculations for semiconductors and insulators / M. Shishkin and G. Kresse // *Phys. Rev. B* – 2007. – V.75. – P. 235102.
11. Брытов И. А. Электронная структура оксида кремния / И. А. Брытов, Ю. Н. Ромашенко // *ФТТ.* – 1978. – Т. 20. – С. 664-223.
12. Гриценко В. А. Атомная структура аморфных нестехиометрических оксидов и нитридов кремния / В. А. Гриценко // *УФН.* – 2008. – Т. 178. – С. 727-737.
13. Векслер М. И. Повышение эффективности кремниевого туннельного МДП-инжектора горячих электронов при использовании оксидов с большой диэлектрической проницаемостью / М. И. Векслер // *Письма в ЖТФ.* – 2015. – Т. 41, вып. 17. – С. 103-110.

## ЗАПРЕЩЁННАЯ ЗОНА ТРИГОНАЛЬНОЙ И КУБИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИЙ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

*Хачатурова Т.А.*, канд. физ.-мат. наук,

*Бутько В.Г.*, канд. физ.-мат. наук,

*Гусев А.А.*, канд. физ.-мат. наук, доц.

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
*khachaturovat@mail.ru*

В связи с развитием твёрдотельной электроники в последние время повышенный интерес для исследователей представляют диэлектрики, которые способны хорошо подавлять токи утечки. На эту роль весьма подходят оксиды с большой диэлектрической проницаемостью, так называемые «high-K» диэлектрики. Внедрение «high-K» диэлектриков в технологический процесс не обходится без использования подбарьерного слоя, в качестве которого выступает диоксид кремния [1-5]. Хорошо известно, что диоксид кремния имеет многообразие пространственных модификаций [6, 7]. Поэтому связь параметров электронной структуры  $\text{SiO}_2$  с его пространственной модификацией требует более детального исследования. В настоящей работе мы проведем *ab initio* расчёты электронной структуры кубической и тригональной модификаций диоксида кремния.

Расчёт электронной структуры  $\text{SiO}_2$  выполнялся с использованием функционала плотности методом проекционных присоединенных волн (PAW) [8], программный пакет VASP (Vienna *ab initio* simulation package). Для обменно-корреляционного потенциала было выбрано обобщенное градиентное приближение (generalized gradient approximation (GGA)) в виде, предложенном Perdew–Burke–Ernzenhof [9]. В результате проведения самосогласованных расчетов находили оптимизированные позиции всех атомов и полную энергию системы, а затем рассчитывали зонную структуру соединения, плотность электронных состояний и т.д. Полученные результаты уточнялись дополнительными расчетами с помощью функций Грина (GW) [10]. Строение тетраэдрических модификаций оксида кремния описывается октаэдрическим правилом Мота [11, 12]. В тригональной сингонии или  $\alpha$ -кварц, как и в других полиморфных модификациях, кристаллическая структура характеризуется той особенностью, что ион  $\text{Si}^{4+}$  всегда находится в четверном окружении ионов  $\text{O}^{2-}$ , расположенных по вершинам тетраэдра, а атом кислорода координирован двумя атомами кремния. Каждая вершина такого тетраэдра одновременно служит вершиной другого смежного тетраэдра. Таким образом, кристаллические решетки диоксида кремния состоят как бы из каркасов сцепленных друг с другом тетраэдров. Способ сцепления во всех

модификациях один и тот же (через вершины тетраэдров), но ориентировка и общая симметрия в расположении их различны. На рис. 1 представлена тригональная модификация диоксида кремния.

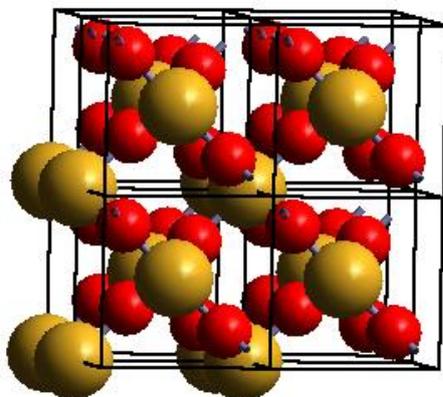


Рис. 1. Тригональная сингония  $\text{SiO}_2$  с параметрами ячейки:  $a=0.491$  нм,  $c=0.5405$  нм. Расчёты показывают, что ширина запрещённой зоны для этой модификации составила  $E_G=7.79$  эВ

На рис. 2. приведена кубическая ( $\beta$ -кristобаллит) кристаллическая структура диоксида кремния. Компьютерное моделирование электронных свойств показало, что в этом случае ширина запрещенной зоны принимает значение:  $E_G=9.35$  эВ.

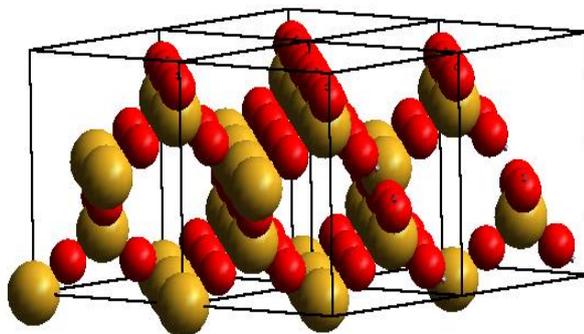


Рис. 2. Кубическая сингония диоксида кремния ( $\beta$ -кristобаллит)

Как можно заметить полученные значения ширины запрещенной зоны диоксида кремния отличаются по величине более чем на 1.5 эВ, и зависят от того какая пространственная структура была реализована. Из выше сказанного следует, что параметры зонной структуры не являются абсолютными величинами и зависят от длины и угла связи Si-O-Si. Этот факт необходимо учитывать при проектировании подзатворного диэлектрика в туннельных кремниевых транзисторах и диодах, поскольку разница между шириной запрещенной зоны диоксида кремния и «high-K» диэлектрика может оказаться недостаточной для подавления токов утечки [13].

## Список литературы

14. Wilk G. D. High- $\kappa$  gate dielectrics: Current status and materials properties considerations / G. D. Wilk, R. W. Wallace, J. M. Anthony // *J. Appl. Phys.* – 2001. – V. 89, N. 10. – P. 5243.
15. Robertson J. High-K materials and metal gates for CMOS applications / J. Robertson, R.W. Wallace // *Mater. Sci. Eng. R* – 2015. – V. 88. – P. 1-41.
16. Yang N. A physical model for hole direct tunneling current in p poly-gate pMOSFETs with ultrathin gate oxides / N. Yang W.K. Henson, J.R. Hauser, J.J. Wortman et al // *IEEE Trans. Electron Devices.* – 2000. – Vol. 47. – P. 2161–2166.
17. Mihaychuk J. G. Broad-spectrum light emission at microscopic breakdown sites in metal-insulator-silicon tunnel diodes / J. G. Mihaychuk, M. W. Denhoff et al // *J. Appl. Phys.* – 2005. – V. 98, N.5. – P. 054502.
18. Векслер М. И. Моделирование туннельного переноса электронов в системе полупроводник-кристаллический диэлектрик-Si(111) / М. И. Векслер // *ЖТФ.* – 2018. – Т. 52, вып.8 – С. 900-905.
19. Некрашевич С. С. Электронная структура оксида кремния / С. С. Некрашевич, В. А. Гриценко // *Физика твердого тела.* – 2014. – Т. 56, вып. 2. – С. 209-222.
20. Стишов С. М. Новая плотная полиморфная модификация кремнезема / С. М. Стишов, С. В. Попова // *Геохимия* – 1961. – Т. 10. – С. 837-839.
21. Kresse G. Ab initio molecular dynamics for open-shell transition metals / G. Kresse, and J. Hafner // *Phys. Rev., B* – 1993. – V. 48, N. 17. – P. 13115-13118.
22. Perdew J. P. Generalized Gradient Approximation Made Simple / J.P. Perdew, S. Burke, and M. Ernzerhof // *Phys. Rev. Lett.* – 1996. – V. 77, N. 7. – P. 3865.
23. Shishkin M. Self-consistent GW calculations for semiconductors and insulators / M. Shishkin and G. Kreese // *Phys. Rev. B* – 2007. – V.75. – P. 235102.
24. Брытов И. А. Электронная структура оксида кремния / И. А. Брытов, Ю. Н. Ромашенко // *ФТТ.* – 1978. – Т. 20. – С. 664-223.
25. Гриценко В. А. Атомная структура аморфных нестехиометрических оксидов и нитридов кремния / В. А. Гриценко // *УФН.* – 2008. – Т. 178. – С. 727-737.
26. Векслер М. И. Повышение эффективности кремниевого туннельного МДП-инжектора горячих электронов при использовании оксидов с большой диэлектрической проницаемостью / М. И. Векслер // *Письма в ЖТФ.* – 2015. – Т. 41, вып. 17. – С. 103-110.

УДК 534.1

## СВЯЗЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЫ С АКУСТИКОЙ

*Христов А.В.*, канд. физ.-мат. наук, *Червинский Д.А.*,

*Шелест В.В.*, канд. физ.-мат. наук

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, ДНР

*chervin@dfi.donbass.com*

Согласно теории упруго деформированного континуума, в среде могут распространяться (без теплообмена) продольные и поперечные звуковые волны [1-10]. Через коэффициенты Ляме скорости продольных и поперечных волн выражаются так:

$$\rho v_{\perp}^2 = \mu_S, \rho v_{\parallel}^2 = \lambda_S + 2\mu_S \quad (1)$$

В соотношении (1)  $\rho$  – плотность,  $v_{\perp}$  и  $v_{\parallel}$  – соответственно поперечная и продольная скорости звука в среде,  $\lambda_S$  и  $\mu_S$  – адиабатические коэффициенты Ляме. Из (1) следует очевидное равенство

$$\lambda_S = \rho v_{\parallel}^2 - 2\rho v_{\perp}^2 \quad (2)$$

Следуя теории упругости сплошной среды, коэффициенты Ляме можно связать с ее объемными модулями упругости [1,8-10]:

$$\mu_S = G_S, \lambda_S + (2/3)\mu_S = K_S \quad (3)$$

Здесь  $G_S, K_S$  – соответствующие модули упругости [10].

В то же время для кристаллов кубической симметрии в континуальном пределе динамики решетки вышеупомянутые модули упругости выражаются через коэффициенты жесткости  $C_{ij}$  (связывающие тензоры напряжений и деформации) как

$$K_S = (C_{11} + 2C_{12})/3, G_S = (C_{11} - C_{12})/2 \quad (4)$$

Поэтому, исходя из соотношения (1) и учитывая (3) и (4), скорости звуковых волн разной поляризации можно записать в виде

$$v_{\perp} = \sqrt{\frac{G_S}{\rho}} = \sqrt{\frac{C_{11} - C_{12}}{2\rho}}, v_{\parallel} = \sqrt{\frac{K_S + (4/3)G_S}{\rho}} = \sqrt{\frac{C_{11}}{\rho}}$$

В приближении изотропной среды, когда параметр анизотропии  $A \equiv 2C_{44} / (C_{11} - C_{12}) = 1$ , скорости поперечных волн совпадают (вырождаются), и  $v_{\perp} = \sqrt{C_{44} / \rho}$ .

Легко показать [1,8-10], что  $G_T = G_S = G$ , а  $K_T \neq K_S$ . Тогда

$$(K_S / \rho) = v_{\parallel}^2 - (4/3)v_{\perp}^2 \quad (5)$$

Известно, что в кристаллах кубической симметрии могут распространяться три типа волн разной поляризации. В то же время средняя квадратическая скорость звуковых волн в кристалле есть величина инвариантная, выражаемая формулой [3,8-10]

$$\langle v \rangle^2 = (v_{\parallel}^2 + 2v_{\perp}^2) / 3 \quad (6)$$

Поэтому, несмотря на анизотропию кристаллов кубической симметрии, средняя квадратическая скорость звука в данной среде такая же, как в изотропном случае [1,3,9,10]. Следуя концепции, отмеченной в [6-10], квадрат средней квадратической скорости может быть выражен через экспериментально определяемые термодинамические коэффициенты следующим образом:

$$\rho \langle v \rangle^2 = 3C_P / (2V\alpha_P) \quad (7)$$

Данная формула, по [6,10], используется для экспериментального определения среднего квадрата скорости.

Соотношение Грюнайзена [1-3, 7-10] можно сформулировать в виде следующей связи:

$$\gamma_G = V\alpha_P K_S / C_P \quad (8)$$

Таким образом, опираясь на равенства (5)-(8), получаем связь параметров комплексного ангармонизма с акустическими величинами в виде

$$\gamma_G = \frac{9}{2} \cdot \{v_{\parallel}^2 - (4/3)v_{\perp}^2\} \times \{v_{\parallel}^2 + 2v_{\perp}^2\}, \quad (9)$$

$$\alpha_P = \frac{9}{2} \cdot C_P \{v_{\parallel}^2 + 2v_{\perp}^2\} \cdot (PV)^{-1}. \quad (10)$$

В дальнейшем будем придерживаться постулата  $\rho V = const$ . Если учесть, что теплоемкость при постоянном давлении сама связана с комплексным ангармонизмом согласно формуле [2,9,10]

$$C_P = C_V(1 + \gamma_G \alpha_P T), \quad (11)$$

то из (10) следует соотношение

$$\alpha_P = \frac{3}{2} \cdot C_V(1 + \gamma_G \alpha_P T) / (\langle v^2 \rangle \rho V). \quad (12)$$

Из (12), используя (9), получаем для коэффициента теплового расширения соответствующую формулу [11], используемую впоследствии для определения детерминанта устойчивости [7-10]:

$$D_y = (T / V^2) \cdot (\gamma_G / \alpha_P). \quad (13)$$

Согласно (8) из (13) получим

$$D_y = (TK_S) / (VC_P) = \{T \cdot \rho V \cdot (K_S / \rho)\} / (V^2 C_P). \quad (14)$$

Опираясь на соотношения (4), можно привести детерминант устойчивости к следующему виду:

$$D_y = T \cdot \rho V \cdot (v_{\parallel}^2 - (4/3)v_{\perp}^2) / (V^2 C_P). \quad (15)$$

Дальнейшая трансформация формул (14)-(15) (при условии постоянства удельной массы вещества  $\rho V$ ), согласно [10], приводит к формуле

$$D_y = \frac{T \cdot \rho V}{V_0^2 C_V (1 + \alpha_P T)^2} \cdot \frac{v_{\parallel}^2 - (4/3)v_{\perp}^2}{1 + \gamma_G \alpha_P T}. \quad (16)$$

Учитывая (9), из (16) можно получить выражение для  $D_y$ , имеющее довольно громоздкий вид [10].

В работе определены связи между термодинамическими коэффициентами, детерминантом устойчивости, параметрами комплексного ангармонизма и скоростями упругих волн в конденсированной среде.

## Список литературы

1. Постников В. С. Физика и химия твердого состояния: учеб. для вузов / В. С. Постников. – Москва: Металлургия, 1978. – 544 с.
2. Жирифалько Л. Статистическая физика твердого тела / Л. Жирифалько. – Москва: Мир, 1975. – 382 с.
3. Кацнельсон А. А. Введение в физику твердого тела / А. А. Кацнельсон. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 293 с.
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – Москва: Наука, 1978. – 792 с.
5. Баскакова В. Б. Расчет скорости звука по изодинамическим коэффициентам и детерминанту устойчивости вещества / В. Б. Баскакова [и др.] // Акустический журнал. – 1965. – Т. 11, вып. 1. – С. 30-34.
6. Беломестных В. Н. Акустический параметр Грюнайзена твердых тел / В. Н. Беломестных // Письма в ЖТФ. – 2004. – Т. 30. – № 3. – С. 14-19.
7. Базаров И. П. Термодинамика / И. П. Базаров. – Москва: Высшая школа, 1991. – 376 с.
8. Шелест В. В. Связь калориметрических коэффициентов с комплексным ангармонизмом и их роль в термодинамике устойчивости равновесного фазового состояния системы / В. В. Шелест, А. В. Христов // Физика и техника высоких давлений. – 2019. – Т. 29. – №4. – С. 73-96.
9. Шелест В. В. Влияние комплексного ангармонизма на дилатометрические и калориметрические свойства конденсированных систем в формализме термодинамики устойчивости равновесного фазового состояния / В. В. Шелест, А. В. Христов, Д. А. Червинский // Физика и техника высоких давлений. – 2020 – Т. 30 – №4. – С. 18-33.
10. Шелест В. В. Связь термодинамики устойчивости фазового состояния конденсированной среды с акустикой / В. В. Шелест, Д. А. Червинский, А. В. Христов // Физика и техника высоких давлений. – 2021 – Т. 31. – №1. – С. 5-27.

УДК 514.7; 514.74; 514.76; 517.1; 517.2; 536; 536.7; 536.71

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВНЕШНИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ФОРМ В ТЕРМОДИНАМИКЕ

*Червинский Д.А., Шелест В.В.*, канд. физ.-мат. наук

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина», г. Донецк, ДНР

*chervin@dfiti.donbass.com*

Формализм внешних дифференциальных форм имеет широкий спектр приложений [1-12]. Как в физике, так и в математике часто ставится задача перехода от одних переменных к другим, традиционно решаемая при помощи якобианов. В исчислении внешних дифференциальных форм переход от одних переменных  $(u, v)$  к другим  $(x, y)$  записывается как

$$\tilde{d}u \wedge \tilde{d}v = J \tilde{d}x \wedge \tilde{d}y \quad (1)$$

С одной стороны, для определения соотношений между соответствующими 2-формами основная методология заключается в использовании 1-форм и правил их внешнего перемножения. С другой

стороны, авторами предлагается формально переписать указанное соотношение в виде дроби

$$J \equiv \frac{\partial(u, v)}{\partial(x, y)} = \frac{\tilde{d}u \wedge \tilde{d}v}{\tilde{d}x \wedge \tilde{d}y} \quad (2)$$

и работать с ней как с обычной дробью. По сути дела, предлагается другая форма якобиана. В развернутом виде формула (2) запишется как

$$\begin{aligned} J &= \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_y \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)_x - \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_x \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right)_y = \\ &= \frac{\tilde{d}u \wedge \tilde{d}y}{\tilde{d}x \wedge \tilde{d}y} \cdot \frac{\tilde{d}v \wedge \tilde{d}x}{\tilde{d}y \wedge \tilde{d}x} - \frac{\tilde{d}u \wedge \tilde{d}x}{\tilde{d}y \wedge \tilde{d}x} \cdot \frac{\tilde{d}v \wedge \tilde{d}y}{\tilde{d}x \wedge \tilde{d}y}. \end{aligned} \quad (3)$$

Обратная связь будет иметь вид  $J^{-1} \equiv \partial(x, y) / \partial(u, v) = \tilde{d}x \wedge \tilde{d}y / \tilde{d}u \wedge \tilde{d}v$ .

Очевидно, что  $J \cdot J^{-1} = 1$ .

Основные определения и принципы использования внешних дифференциальных форм – это определения форм степени  $p$ , их внешнего дифференцирования (действием оператора  $\tilde{d}$ ), внешнего умножения с учетом антикоммутативности множителей и обращение в ноль  $p$ -формы при повторном действии оператора  $\tilde{d}$  [1-12].

В данной работе приведены некоторые примеры эффективного применения такого аппарата в термодинамике, а именно получения соотношений между термодинамическими производными, определенными на множестве  $(T, P, S, V)$ ,

По определению, каждая из переменных выступает как 0-форма, являющаяся функцией двух других переменных. Рассмотрим какую-либо тройку 0-форм из четырехмерного множества, например  $P(S, V), S(P, V), V(P, S)$ . Действуя на них оператором  $\tilde{d}$ , определим 1-формы в виде  $\tilde{d}P = (\partial P / \partial S)_V \tilde{d}S + (\partial P / \partial V)_S \tilde{d}V$ ;  $\tilde{d}S = (\partial S / \partial P)_V \tilde{d}P + (\partial S / \partial V)_P \tilde{d}V$ ;  $\tilde{d}V = (\partial V / \partial P)_S \tilde{d}P + (\partial V / \partial S)_P \tilde{d}S$ .

Из данных 1-форм путем их внешнего перемножения можно получить следующие 2-формы:  $\tilde{d}P \wedge \tilde{d}S, \tilde{d}P \wedge \tilde{d}V, \tilde{d}S \wedge \tilde{d}V$ . Преобразуем первую из них. Можно поступить следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{d}P \wedge \tilde{d}S &= \left\{ \left( \frac{\partial P}{\partial S} \right)_V \tilde{d}S + \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \tilde{d}V \right\} \wedge \tilde{d}S = 0 + \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \tilde{d}V \wedge \tilde{d}S = \\ &= \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \tilde{d}V \wedge \left\{ \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_P \tilde{d}V + \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_V \tilde{d}P \right\} = 0 + \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_V \tilde{d}V \wedge \tilde{d}P = \\ &= \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_V \left\{ \left( \frac{\partial V}{\partial S} \right)_P \tilde{d}S + \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_S \tilde{d}P \right\} \wedge \tilde{d}P = - \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_V \left( \frac{\partial V}{\partial S} \right)_P \tilde{d}P \wedge \tilde{d}S. \end{aligned}$$

Из этого равенства автоматически следует тождество

$$(\partial P / \partial V)_S (\partial S / \partial P)_V (\partial V / \partial S)_P = -1. \quad (4)$$

Таким путем можно получить из вышеприведенных (и других) 2-форм соответствующие тождества.

Еще один метод получения подобных соотношений заключается в следующем. Из четырехмерного множества переменных можно выделить ту или иную пару. Каждая из переменных такой пары будет являться функцией двух других. Например, исследуем 2-форму

$$\begin{aligned} \tilde{d}P \wedge \tilde{d}T &= \tilde{d}P(S, V) \wedge \tilde{d}T = \left\{ \left( \frac{\partial P}{\partial S} \right)_V \tilde{d}S + \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \tilde{d}V \right\} \wedge \tilde{d}T = \\ &= \left( \frac{\partial P}{\partial S} \right)_V \tilde{d}S(P, T) \wedge \tilde{d}T + \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \tilde{d}V(P, T) \wedge \tilde{d}T = \\ &= \left\{ \left( \frac{\partial P}{\partial S} \right)_V \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T + \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \right\} \tilde{d}P \wedge \tilde{d}T. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что

$$\left( \frac{\partial P}{\partial S} \right)_V \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T + \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = 1 \quad (5)$$

Преобразуем первое слагаемое равенства (5) методом якобианов:  $\{\partial(P, V) / \partial(S, V)\} \cdot \{\partial(S, T) / \partial(P, T)\} = \{\partial(P, V) / \partial(P, T)\} \cdot \{\partial(S, T) / \partial(S, V)\} = \alpha_P / \alpha_S$ . Таким образом, в терминах термодинамических коэффициентов равенство (5) может быть записано как

$$(\alpha_P / \alpha_S) + (K_S / K_T) = 1 \quad (6)$$

Отметим, что выше использовались равенства  $P\beta_S = -\alpha_S K_S$  и аналогичное ему  $P\beta_V = -\alpha_P K_T$ . Можно использовать также формализм, отраженный в (2) (см. [11]). Таким способом легко показать, что имеет место следующая связь между теплоемкостями:

$$C_P = C_V \{1 - \alpha_P / \alpha_S\}. \quad (7)$$

Очевидно, что из выражений (6) и (7) следует известное равенство  $C_P / C_V = K_S / K_T$  [13].

Работа основана на фундаментальных принципах исчисления внешних дифференциальных форм. Она демонстрирует эффективность и методологическую целесообразность применения данного математического аппарата в физике.

### Список литературы

1. Картан А. Дифференциальное исчисление. Дифференциальные формы / А. Картан. – Москва: Мир, 1971 – 392 с.
2. Шутц Б. Геометрические методы математической физики / Б. Шутц. – Москва: Мир, 1984. – 311 с.

3. Сантало Л. Интегральная геометрия и геометрические вероятности / Л. Сантало. – Москва: Наука, 1983. – 360 с.
4. Стернберг С. Лекции по дифференциальной геометрии / С. Стернберг. – Москва: Мир, 1970. – 412 с.
5. Ильин В. А. Основы математического анализа. В 2 т. Т. 2. / В. А. Ильин, Э. Г. Позняк. – Москва: Наука, 1971. – 464 с.
6. Шелест В. В. Применение исчисления внешних дифференциальных форм в термодинамике. Часть 1. Основные положения термодинамики и теория потенциалов в представлении исчисления внешних дифференциальных форм / В. В. Шелест, А. В. Христов, Д. А. Червинский // Физика и техника высоких давлений. – 2017. – Т. 27. – №4 – С. 5-49.
7. Шелест В. В. Применение исчисления дифференциальных внешних форм в термодинамике. II. Определение соотношений между термодинамическими коэффициентами на основе исчисления внешних дифференциальных форм / В. В. Шелест, Д. А. Червинский // Физика и техника высоких давлений. – 2018. – Т. 28. – №4. – С. 83-107.
8. Шелест В. В. Применение исчисления дифференциальных форм в термодинамике. III. нетривиальные способы решения основного уравнения термодинамики методами исчисления внешних дифференциальных форм / В. В. Шелест, Д. А. Червинский // Физика и техника высоких давлений. – 2019. – Т. 29. – №1. – С. 5-27.
9. Шелест В. В. Применение исчисления дифференциальных форм в термодинамике. IV. калориметрия в свете исчисления внешних дифференциальных форм / В. В. Шелест, Д. А. Червинский // Физика и техника высоких давлений. – 2019. – Т. 29. – №3. – С. 47-64.
10. Шелест В. В. Связь калориметрических коэффициентов с комплексным ангармонизмом и их роль в термодинамике устойчивости равновесного фазового состояния системы / В. В. Шелест, А. В. Христов // Физика и техника высоких давлений. – 2019. – Т. 29. – №4. – С. 73-96.
11. Шелест В. В. Сравнение формализма исчисления внешних дифференциальных форм с методом якобианов / В. В. Шелест, Д. А. Червинский // Физика и техника высоких давлений. – 2020. – Т. 30. – №3. – С. 33-36.
12. Шелест В. В. Влияние комплексного ангармонизма на дилатометрические и калориметрические свойства конденсированных систем в формализме термодинамики устойчивости равновесного фазового состояния / В. В. Шелест, А. В. Христов, Д. А. Червинский // Физика и техника высоких давлений. – 2020. – Т. 30, №4. – С. 18-33.
13. Стенли Г. Фазовые переходы и критические явления / Г. Стенли. – Москва: Мир, 1973. – 425 с.

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ДИФФУЗИОННЫЙ ТРАНСПОРТ КИСЛОРОДА

*Эфрос Н.Б., Филиппов А.Э., д-р физ.-мат. наук,  
Николаенко Ю.М., канд. физ.-мат. наук*

ГУ Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина, г. Донецк, ДНР  
*efrosn@donfti.ru*

Исследование диффузионного транспорта атомарного кислорода в эпитаксиальных  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_{3-\delta}$  пленках косвенным методом [1,2] выявило сильную зависимость коэффициента диффузии ( $k$ ) от толщины и по толщине пленок. Эффект большой, в пленках толщиной 25-300 нм изменение  $k$  превышает два порядка величины. Природа наблюдаемых аномалий может быть обусловлена несколькими факторами, вклад от которых в рамках проведенных исследований трудно разделить. В этой работе мы представляем результаты исследований диффузионных процессов в механически напряженном кристалле методом компьютерного моделирования.

С целью теоретического исследования нами была построена двумерная модель фрагмента кристалла, которая сочетает динамику упругой решетки и подвижных примесных атомов. Для динамического поддержания расстояния  $(x_j - x_{j\pm 1}) \approx a$  между узлами решетки в ней использован потенциал  $U = (x_j - x_{j\pm 1} \mp a)^2 / 2$ , при котором каждый из узлов решетки притягивается по закону Гука к локальному минимуму, образованному его соседями на расстояниях  $(x_j - x_{j\pm 1}) = \mp a$ . Для воспроизведения отношения Пуассона использовано как взаимодействие ближайших, так и следующих за ними соседей. Уравнения динамики:

$m_{jk} \frac{\partial^2 \mathbf{r}_{jk}}{\partial t^2} = \mathbf{f}_{jk}$  дополнены граничными условиями:  $\mathbf{f}_{jk} |_{boundary} = 0$ . Здесь краткое выражение  $\mathbf{f}_{jk} |_{boundary}$  обозначает силу, со стороны отсутствующего узла за пределами системы. Нижний слой узлов решетки закреплен на подложке с другим периодом  $a_2$ :  $dx_{1,j1} = x_{j1} - x_{j\pm 11} - a_2$ . В дальнейшем мы будем интересоваться тремя качественно различными случаями:  $a_2 / a_1 < 1$ ,  $a_2 / a_1 = 1$  и  $a_2 / a_1 > 1$  (для определенности:  $a_2 / a_1 = 0.8$ ,  $a_2 / a_1 = 1$  и  $a_2 / a_1 = 1.2$ ).

При контакте одной или нескольких границ с термостатом, его температура  $T$  описывается источником Ланжевена  $\langle \xi(t, \mathbf{r}) \rangle = 0$ ,  $\langle \xi(t, \mathbf{r}) \xi(t', \mathbf{r}') \rangle = D \delta(t - t') \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}')$ , где  $D = 2k_B T$  и  $k_B$  – постоянная Больцмана. Уравнения движения решетки имеют вид:

$$m_{jk} \partial^2 \mathbf{r}_{jk} / \partial t^2 = \mathbf{f}_{jk} - \gamma \partial \mathbf{r}_{jk} / \partial t + \xi(t, \mathbf{r}_{jk}). \quad (1)$$

Модель дополнена примесной подсистемой подвижных частиц с потенциалом взаимодействия  $U = C_{ij} \exp\{-[(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) / c_{ij}]^2\} - D_{ij} \exp\{-[(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) / d_{ij}]^2\}$ , где  $C_{ij} > D_{ij}$  и  $c_{ij} < d_{ij}$ , соответственно. Совместно с системой (1) решается система уравнений движения для примесей (2), учитывающая обмен импульсами внутри системы подвижных частиц и взаимодействие с узлами решетки.

$$m_i \partial \mathbf{v}_i / \partial t = \mathbf{f}_i^r - \eta \mathbf{f}_i^v - \gamma \mathbf{v}_i + \zeta_i. \quad (2)$$

Предварительные результаты моделирования суммированы на рис. 1 и рис. 2. На рис. 1 показаны три варианта диффузии внешних атомов (жирные кружки), на промежуточной стадии проникновения к заданному времени  $t$ . Фрагменты (а)-(с) соответствуют случаям:  $a_2 = 0.8a_1$ ,  $a_2 = a_1$  и  $a_2 = 1.2a_1$ . Искажения решетки, закрепленной на подложке видны непосредственно.

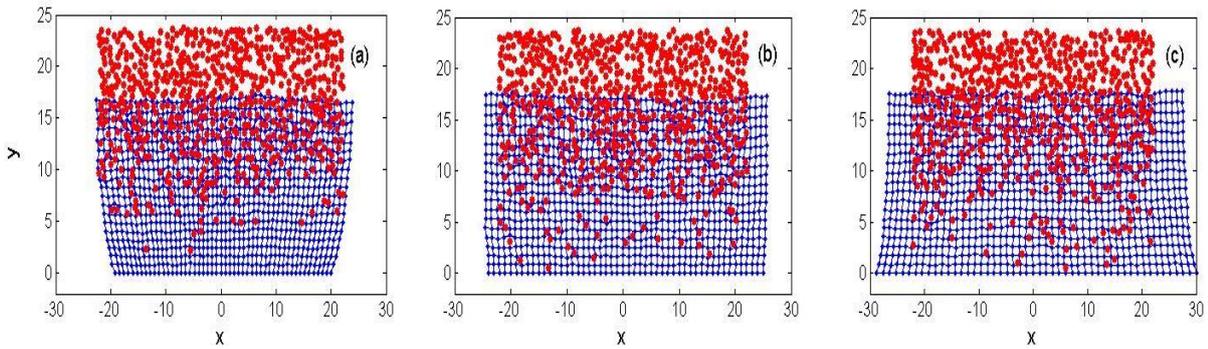


Рис. 1. Три варианта решетки и мгновенные конфигурации диффундирующих атомов

На рис. 2 показаны средние плотности  $\rho(t; y) = \int_0^{L_x} dx \rho(t; x, y)$ , полученные за одинаковое время, а также зависимости от времени полного количества частиц  $N_{inside}(t) = \int_0^h dy \rho(t; y) = \int_0^h dy \int_0^{L_x} dx \rho(t; x, y)$  проникших вглубь решетки для трех случаев  $a_2 = 0.8a_1$ ,  $a_2 = a_1$  и  $a_2 = 1.2a_1$ . Модель демонстрирует хорошее согласие с интуитивно ожидаемым эффектом. Сжатие решетки книзу при  $a_2 = 0.8a_1 < a_1$  затрудняет диффузию по сравнению с контрольным случаем  $a_2 = a_1$ , тогда как ее расширение  $a_2 = 1.2a_1 > a_1$  ускоряет. Это свидетельствует о пространственной зависимости эффективного коэффициента диффузии примесных атомов от искажений решетки, вызванных, в том числе, рассогласованием кристаллических параметров материалов пленки и подложки.

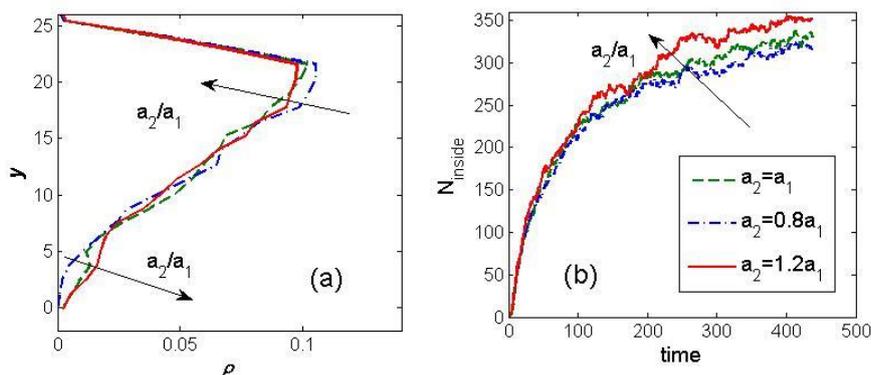


Рис. 2. Сравнение плотности  $\rho(y)$  (a) и концентраций  $N_{inside}(t)$  (b) для трех случаев, представленных на рис. 1. Тенденции с изменением  $a_2/a_1$  показаны стрелками

Тем не менее, модель диффузии примесных атомов в таком виде не воспроизводит в полной мере особенности кислородного транспорта в LSMO пленках. Эксперимент показывает факт убывания коэффициента диффузии по мере уменьшения толщины пленок, а также в зависимости от положения между внешним и внутренним интерфейсами, независимо от знака напряжений. Эффект наблюдается как в случае «растягивающих» так и «сжимающих» механических искажений. Планируется дальнейшее развитие модели с использованием более реалистичной кристаллической решетки с учетом того, что образование кислородной вакансии в манганитах увеличивает размер элементарной ячейки, чем вызывает перераспределение механических напряжений и, в конечном счете, снижает коэффициент диффузии.

### Список литературы

1. Nikolaenko Yu. M. Non-uniform oxygen diffusion in epitaxial  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_{3-\delta}$  film on  $\text{SrTiO}_3$  substrate / Yu. M. Nikolaenko, A. N. Artemov, Yu. V. Medvedev, N. B. Efros, I. V. Zhikharev, I. Yu. Reshidova, A. A. Tikhii, S. V. Kara-Murza // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2016. – V. 49, № 37. – Art.No 375302. – 7 p.
2. Николаенко Ю. М. Диффузия кислорода в  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Mn}_{3-\delta}$  пленках разной толщины на  $\text{NdGaO}_3$  подложках / Ю. М. Николаенко, Н. Б. Эфрос, А. Н. Артемов // ЖТФ. – 2021. (принята к публикации).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ФТОРА

*Якименко М.Н., Недёркин В.В., Зедоми Т.Э.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*nicksonn11@gmail.com*

**Введение.** Интерес к наноразмерным частицам в последнее время значительно возрос вследствие их уникальных физических и химических свойств, отличающихся от свойств макрочастиц и микрочастиц.

Вскоре в сфере современной фотоники значительную роль будут играть устройства на основе фторидных соединений, что можно утверждать на основании таких преимуществ данных материалов как: прозрачность фторидов в сравнительно широкой спектральной области; легкость введения в состав фторидов значительных количеств активных редкоземельных ионов; высокая теплопроводность фторидов; предпочтительные механические свойства, а также более высокая влагостойкость в сопоставлении с остальными классами веществ, обладающих широким окном пропускания.

Этими свойствами монокристаллов фторидов и пользуются при изготовлении активных и пассивных элементов лазерных систем, применяемых в некоторых областях экологии, компьютерных технологий и здравоохранения.

Более того композиты, включающие нанокристаллический фторид лития уже запатентованы как электродные материалы для обратимых литиевых батарей. Наночастицы на основе фторофосфатов кальция стимулируют процессы реминерализации зубной эмали, что предотвращает кариес, разрушение зубов и повышает качество зубных пломб.

Синтезирование нанофторидов возможно при применении различных физических и химических методов. К примеру, наночастицы  $PbF_2$  получают путем конденсации паров в ультравысоком вакууме; частицы  $CaF$ ,  $FeF_3$ ,  $GaF_3$  были синтезированы с помощью высокоэнергетических мельниц; множество других соединений получено посредством химических методов, также наночастицы фторидов могут образовываться при газофазном фторировании дисперсных систем.

**Основная часть.** На данный момент существует несколько основных перспективных направлений для использования нанофторидов:

– Сцинтилляционные материалы. Сцинтилляционные материалы используются для преобразования высокоэнергетического излучения в излучение оптического диапазона, которое затем может быть преобразовано в электрический сигнал. Одним из наиболее многообещающих сцинтилляционных материалов сейчас является фторид бария.

– Люминесцентные материалы. Неорганические люминофоры входят в число важных классов материалов для некоторых научных отраслей, а также техники, медицины и биологии. Одним из способов получения люминесцентных наночастиц является легирование фторидов типа  $MF_2$  ( $M = Ca, Sr, Ba, Pb$ ) различными трехвалентными лантаноидами ( $Ln^{3+}$ ). Люминесцируют  $Ln^{3+}$  в видимой или ближней инфракрасной областях спектра при облучении ультрафиолетовым светом. Высокий интерес вызывают ап-конверсионные люминофоры, которые позволяют преобразовывать ближнее инфракрасное излучение накачки в видимый диапазон света с использованием легирующих пар  $Yb^{3+}:Er^{3+}$  и  $Yb^{3+}:Tm^{3+}$ , и рассматриваются в качестве возможных для использования в различных биомедицинских приложениях. Вследствие чего, одним из наиболее изучаемых классов веществ для биомедицинских приложений являются фториды.

– Наноконпозиты. Кристалл с определённой высокой концентрацией дефектов можно рассматривать как наноконпозит.

Увеличение концентрации фторидов редкоземельных элементов приводит в последствии к образованию кластеров. При увеличении концентрации твердых растворов концентрация кластеров растёт, кластеры начинают соприкасаться друг с другом и преобразовываться в суперкластеры. Причём размеры таких суперкластеров могут достигать нескольких микрометров.

**Заключение.** Неорганические фториды обладают уникальным набором физико-химических свойств. Фториды широко исследуются и используются в качестве материалов фотоники. Получение наночастиц – начальный этап в создании наноматериалов, а в свою очередь фторидные наночастицы используются при построении уже сложных нанообъектов. Введение нанофторидных частиц улучшает механические характеристики. Имеются огромные перспективы применения аморфных порошков фторидов для производства фторидных стекол разнообразных типов, также нанофториды перспективны для использования в качестве сырья для получения монокристаллов. Нанофториды – одна из современных стремительно развивающаяся сфер научного познания. Вещества, находящиеся в нанодисперсном состоянии проявляют принципиально новые, не такие как у объёмных образцов свойства. Данный факт предоставляет обширные возможности для создания совершенно новых технических устройств, в частности сцинтилляторов, дисплеев, источников освещения, катализаторов, ионных проводников. В настоящее время активно ведутся исследования по изучению фторидных частиц сложного состава для биомедицинских приложений, биологических меток, агентов доставки лекарств, волоконно-оптических усилителей, источников света для низкопороговых лазеров.

## Список литературы

1. Шахрай О. А. Особенности рентгенолюминесценции композитов из неорганических и органических сцинтилляторов: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.07: защищена 24.04.12 / Шахрай Оксана Анатольевна. – Черноголовка, 2012. – 124 с.
2. Бузник В. М. Ядерная спектроскопия неорганических фторидов / В. М. Бузник; Институт химии Дальневосточного отделения РАН. – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 156 с.: ил. – Библиогр.: с. 144-152
3. Кузнецов С. В. Неорганические нанофториды и нанокompозиты на их основе / С. В. Кузнецов, В. В. Осико, Е. А. Ткаченко, П. П. Федоров // Успехи химии. – 2006. – Т. 75, № 12. – С. 1193-1211.
4. Кирчанов В. С. Наноматериалы и нанотехнологии: учебное пособие / В. С. Кирчанов; Пермский нац. исслед. политех. ун-т. – Пермь: Изд-во Перм. нац. иссл. политех. ун-та 2016. – 193 с.
5. Маякова М. Н. Фазообразование при синтезе неорганических нанофторидов щелочноземельных и редкоземельных элементов из водных растворов]: дис. канд. хим. наук: 05.27.06: защищена 26.04.19 / Маякова Мария Николаевна. – Москва, 2019. – 141 с.
6. Полуэктов В. Л. Особенности технологии комбинированной твердофазной экструзии, формования структуры и свойств нанокompозитов на основе фторполимеров / В. Л. Полуэктов, В. М. Бузник, Г. С. Баронин, В. В. Худяков // Вестник ТГТУ. – 2014. – № 3, Т. 20. – С. 564–571.

# Радиофизика и инфокоммуникационные технологии

УДК 004.056.53

## АТАКИ НА АЛГОРИТМ ДИФФИ-ХЕЛМАНА

**Бабичева М.В., Белик Т.В.**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*m.v.babicheva60@gmail.com*

**Протокол Диффи-Хеллмана** Протокол Диффи-Хеллмана используется для распределения ключей среди участников шифрованного обмена, например, в хорошо известных протоколах TLS/SSL, SSH, VPN, SMTPS, IPsec и др.. Основные параметры, необходимые для передачи общего секрета представлены на рис. 1.  $a$  и  $b$  – закрытые ключи участников обмена,  $q$  и  $g$  – открытый ключ. Все известные атаки на алгоритм Диффи-Хеллмана обусловлены использованием уязвимых параметров.

**Атака перебором** В случае использования небольших простых чисел (как на рис. 1) в качестве параметров, подобрать закрытые ключи не представляет труда.

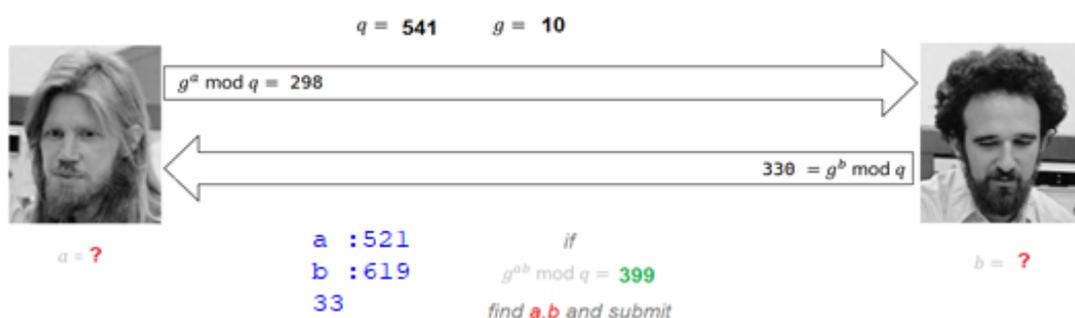


Рис. 1. Реализация алгоритма Диффи-Хеллмана с параметрами меньше 1000 позволяет найти закрытые ключи и общий секрет перебором

**Baby-step giant-step** также называемый алгоритм больших и малых шагов – в теории групп, детерминированный алгоритм дискретного логарифмирования в мультипликативной группе кольца вычетов по модулю простого числа. Алгоритм относится к методам встречи посередине. Если задана циклическая группа  $G$  порядка  $n$ , генератор группы  $a$  и некоторый элемент группы  $b$ . Задача дискретного логарифмирования сводится к нахождению целого числа  $x$ , для которого выполняется  $a^x = b$ . Равенство представляется в виде  $a^{im} = ba^j$ . Можно вычислять шаги  $a^{im}$  с маленьким инкрементом для любого  $1 \leq i \leq m$  – «baby step», заносить их в таблицу,

затем вычислять шаги с большим инкрементом  $ba^j$  – «giant step» и проверять наличие  $ba^j$  в таблице, если совпадение найдено, возвращать  $i-j$ . Сложность алгоритма –  $O(2\sqrt{n})$ , поэтому он так же как и перебор довольно затратен по времени и подходит для небольших чисел. На рис. 2 представлен результат нахождения  $x$ , занявший секунду, однако для 14-значных чисел он занимает более 2 часов. Для больших чисел применяют алгоритм Полларда, который имеет временную сложность  $O(\sqrt{n})$ , но использует меньший объем памяти. Вообще, для нахождения ключей и общего секрета можно применять любые алгоритмы дискретного логарифмирования, например, алгоритм Адлемана или квантовый алгоритм Шора, способный вычислять дискретные логарифмы за полиномиальное время, со временной сложностью  $O((\log(n))^3)$  и пространственной сложностью  $O(\log(n))$  [1].

**Алгоритм Полига-Хеллмана** Если в предыдущих атаках стояла задача вычислить закрытые ключи, а затем найти общий секрет, то этот алгоритм позволяет найти общий секрет, без вычисления закрытых ключей. можно разложить  $p-1$  на более мелкие множители. Пусть задано  $a^x = b$  и известно разложение числа  $p-1$  на простые множители:  $p-1 = q^{a1} * q^{a2} * q^{a3} \dots$  Это можно сделать либо использованием известных алгоритмов, либо используя готовую базу данных факторов больших чисел. Для нахождения числа  $x$ ,  $0 < x < p-1$  достаточно найти  $x$  по модулям  $q^{ai}$  для всех  $i$ , а затем решение сравнения  $a^x = b$  можно найти с помощью китайской теоремы об остатках, решив сравнение  $(a^x) ** (p - 1)/q^{ai} = b ** (p - 1)/q^{ai} (mod p)$

Search	Sequences	Revert results	Factor tables	Status	Downloads	Login
298161833288328455288826827978944092432						
Factorize!						
<b>Result:</b>						
status	digits	number				
FF	39 <a href="#">(show)</a>	298161833288328455288826827978944092432	= 2 <sup>4</sup> · 3 <sup>4</sup> · 19 · 89 · 263 · 23292263 · 8131686029 <sup>10</sup> · 2731211959087 <sup>13</sup>			
<a href="#">More information</a>						
ECM						

G: 604604729  
a: 7894352216  
b: 355407489  
x: 102900819

Рис. 2. Слева – результат нахождения закрытого ключа  $x$  алгоритмом Baby-step giant-step, справа – факторизация  $p-1$  для реализации атаки Полига-Хеллмана

**Logjam** атака на протоколы TLS/SSL возможна, в случае если длина ключа составляет 512 бит и меньше. Такие ключи обычно используются в DHE\_EXPORT шифрах – эти шифры были разработаны, чтобы удовлетворить требования старых стандартов, и требовали, чтобы простые числа-параметры протокола были короткими. На рис. 3 представлены простые числа, используемые для генерации ключей. Первое вшито в сервер Apache httpd в версиях от 2.1.5 до 2.4.7, и используется в 7 % набора шифра DHE\_EXPORT. Этот шифр используют более 1 миллион HTTPS серверов (3 % от всех HTTPS серверов) в мире [2]. Второе число связано с

библиотекой OpenSSL. Это простое число, используется программой OpenSSL `s_server`, как для обмена ключами по Диффи-Хелману, так и для DHE\_EXPORT шифров, впервые появилось в предшественнике OpenSSL, SSLeay 0.5.1.

```
Diffie-Hellman-Parameters: (512 bit)      Diffie-Hellman-Parameters: (512 bit)
prime:                                     prime:
00:9f:db:8b:8a:00:45:44:f0:04:5f:17:37:d0:ba: 00:da:58:3c:16:d9:85:22:89:d0:e4:af:75:6f:4c:
2e:0b:27:4c:df:1a:9f:58:82:18:fb:43:53:16:a1: ca:92:dd:4b:e5:33:b8:04:fb:0f:ed:94:ef:9c:8a:
6e:37:41:71:fd:19:d8:d8:f3:7c:39:bf:86:3f:d6: 44:03:ed:57:46:50:d3:69:99:db:29:d7:76:27:6b:
0e:3e:30:06:80:a3:03:0c:6e:4c:37:57:d0:8f:70: a2:d3:d4:12:e2:18:f4:dd:1e:08:4c:f6:d8:00:3e:
e6:aa:87:10:33                               7c:47:74:e8:33
generator: 2 (0x2)                            generator: 2 (0x2)
```

Рис. 3. Использование этих простых чисел для генерации ключей позволяет злоумышленникам вычислить дискретный логарифм обмена ключами

Для каждого из этих чисел вычисляется группа из простых чисел, которые являются ключами-кандидатами. Вычислить дискретный логарифм конкретного обмена ключами можно всего за несколько минут. Поскольку числа для Apache используются многими серверами, расходы на вычисления могут окупиться компрометацией подключений к этим серверам. В 2016 была представлена работа, показавшая возможность по подготовке специальных конечных полей для алгоритма Диффи – Хеллмана [3]. Простое число  $p$  специального вида (1024 бита) выглядит стандартным для пользователей, но значительно упрощает сложность вычислений по методу решета числового поля для решения задачи дискретного логарифмирования.

**Заключение.** Для безопасности протокола Диффи – Хеллмана очень важен выбор параметров. Многие реализации используют небольшое количество популярных наборов параметров алгоритма, что ведет к уязвимости. Автором разработана лабораторная работа для изучения студентами криптографических атак на алгоритм, которая позволит обратить внимание на выбор параметров для использования существующих решений и реализации собственных.

### Список литературы

1. Mavroeidis, V The impact of quantum computing on present cryptography / V. Mavroeidis, K. Vishi, M. D. Zych, A. Jøsang. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 9, No. 3, 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://arxiv.org/pdf/1804.00200.pdf>, свободный.
2. Adrian, D. Imperfect Forward Secrecy: How Diffie-Hellman Fails in Practice / D. Adrian D, K. Bhargavan, Z. Durumeric. DOI:10.1145/3292035, 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/281128509\\_Imperfect\\_Forward\\_Secrecy\\_How\\_Diffie-Hellman\\_Fails\\_in\\_Practice](https://www.researchgate.net/publication/281128509_Imperfect_Forward_Secrecy_How_Diffie-Hellman_Fails_in_Practice), свободный.
3. Wong, D How to Backdoor Diffie-Hellman/ D. Wong, 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://eprint.iacr.org/2016/644.pdf>, свободный.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

*Данилов В.В.*, д-р техн. наук, проф.,

*Тимченко В.И.*, канд.-физ. мат. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет, г. Донецк, ДНР,

*ut5iv@mail.ru*

**Введение.** Среди существующих методов [1, 2] измерения параметров акустоэлектронных устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) наиболее перспективными являются оптические, благодаря их универсальности, высокой чувствительности и относительной простоте [3]. Вместе с тем, по многочисленности обрабатываемых экспериментальных данных параметров устройств и аналитических вычислений они трудно реализуемы без создания автоматизированных систем научных исследований параметров устройств на ПАВ (АСНИ).

**Основная часть.** Обобщенная структура АСНИ общеизвестна. Система исследований параметров ПАВ (АСНИ ППАВ) основана на доработке известной структуры, элементами подсистемы основанной на оптических методах:

– дифференциальные, в которых предусматривается последовательное проведение измерений по ряду точек (или методы оптического зондирования);

– интегральные, с помощью которых поля ПАВ визуализируются одновременно.

В зависимости от вида взаимодействия света с ПАВ существует две группы методов оптического зондирования:

– базирующиеся на анализе света, дифрагированного на ПАВ;

– с применением фазовой модуляции световой волны.

Фазовую информацию о ПАВ можно получить, сравнивая сигнал, при зондировании исследуемого устройства с соответствующим опорным сигналом, несущим известную информацию с фазе. При этом опорный сигнал может быть как электрической так и световой природы. В случае световой природы надо наличие пространственной или временной интерференции обоих световых пучков, регистрируемых квадратичным детектором.

В соответствии со структурой, приведенной на рис., луч света от лазера расщепляется на сигнальный и опорный. Далее, реализуется фазовая модуляция этих лучей несущей частотой  $f_B$ , и как следствие, в спектре образуются верхняя и нижняя боковые полосы для опорного и

сигнального лучей. Модулятором несущей используется ячейка Брэгга, в которой несущая и ее боковые пространственные разделены и с помощью переключателей  $p$  и  $q$  может быть выделен любой спектральный компонент. Процедура гарантирует, что флуктуации длины оптического пути не влияют на результаты измерений, так как спектр флуктуации не попадает в полосу обработки сигнала с центром на частоте  $f_B$ , т. е. такая система свободна от помех, обусловленных микрофонным эффектом, градиентами температуры и т. д. Варьируя различным образом несущую и боковые частоты в опорном и сигнальном каналах, можно работать в различных режимах: от режима с подавленной боковой до режима с одной боковой с подавленной несущей. Далее опорная и сигнальная световые волны модулируются с частотой ПАВ  $f$  и затем смешиваются на поверхности расщепителя луча или фотоприемника, причем к коллинеарности этих лучей предъявляются строгие требования. Для простоты считают, что свет падает нормально к поверхности исследуемого устройства.

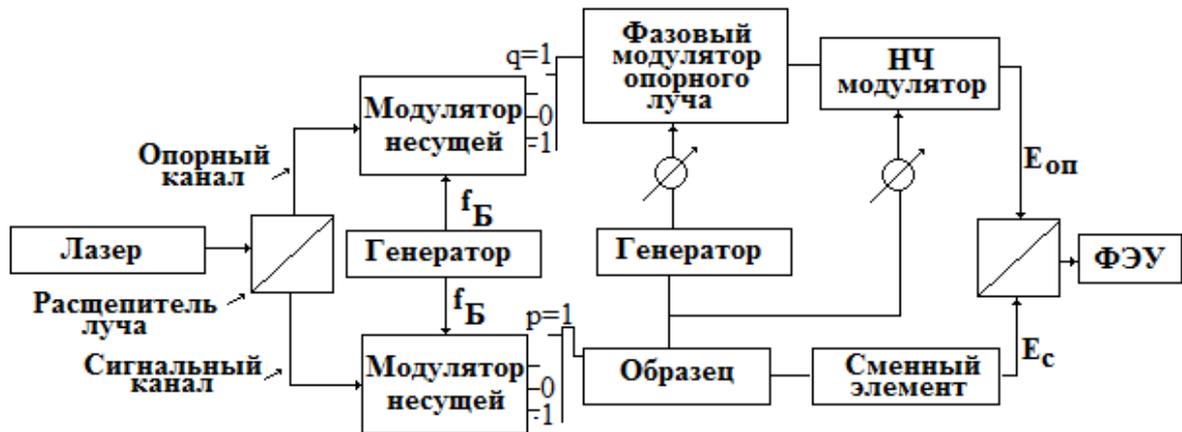


Рис. Структура подсистемы АСНИ ориентированная для измерения параметров ПАВ на основе оптического зондирования (сменный элемент в подсистеме, например, интерферометр Фабри – Перо)

При распространении двух ПАВ в противоположных направлениях, напряженность электрического поля в 1-м порядке дифракции, который обычно используется в качестве сигнального, исходя из [3], будет,

$$\dot{E}_C = \dot{E}_{+1} = -iRE_i k_i \{ \delta_+ e^{[-i(\omega_0 + \Omega t + Kx_1 - \Phi_+)]} + \delta_- e^{[-i(\omega_0 - \Omega t + Kx_1 + \Phi_-)]} \},$$

где  $\Phi_+$  и  $\Phi_-$  – начальная фаза ПАВ, распространяющейся вдоль оси  $x_1$  и в обратном направлении соответственно. При падении на фотоприемник опорного пучка, частота которого сдвинута от частоты падающего света

$\Omega_B$ :  $\dot{E}_{оп} = s \dot{E}_i e^{[-i(\omega_0 + \Omega_B)t]}$ , где  $s$  – коэффициент деления расщепителя ( $0 < s < 1$ ). Фототок в нагрузке фотодетектора с чувствительностью  $\eta$ , определяется выражением

$$i_{\Phi} = \eta[E_C^* + E_{OP}^*]^2 = \eta\{(RE_i k_i \delta_+)^2 + (RE_i k_i \delta_-)^2 + (sE_i)^2 + \\ + 2RsE_i^2 \delta_+ k_i \sin(\Omega_B - \Omega)t + 2RsE_i^2 \delta_- k_i \sin(\Omega_B + \Omega)t + 2RsE_i^2 \delta_+ \delta_- k_i^2 \cos 2\Omega t\}$$

Дальнейшая обработка сигнала фотоприемника с помощью фильтра или резонансного усилителя, настроенного на частоту  $(\Omega_B \pm \Omega)$ , позволит получить, как видно из  $i_{\Phi}$  информацию об амплитуде ПАВ  $\delta_+$  или  $\delta_-$ .

В зависимости от значений параметров, входящих в  $i_{\Phi}$  и используемых элементов обобщенной схемы (рис.) различаются следующие методы (а соответственно и схемы) оптического зондирования: метод прямого зондирования, интерферометрия Фабри – Перо, метод оптического зондирования с использованием стационарной опорной решетки, метод «ножевой диафрагмы», метод с использованием опорных пучков.

**Заключение.** Структуры автоматизированных системы научных исследований параметров устройств на ПАВ, при их реализации, должны соответствовать общеизвестной и в случае принятия решения использования оптического зондирования, могут быть доработаны по обобщенной схеме (см. рис). В случае конкретизации задачи измерений могут использоваться методы, отмеченные выше, при этом будет видоизменяться и обобщенная схема. Конкретные решения ее будут рассмотрены в другой работе.

### Список литературы

1. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах. Пер. с англ. / Д. Морган. – М.: Радио и связь. 1990. – 416 с.
2. Клюдзин В. В. Физические основы построения акустооптических устройств / В. В. Клюдзин. – Ленинград: Ленингр. электротехн. ин-т, 1980. – 75 с.
3. Данилов В. В. Измерение параметров устройств на поверхностных акустических волнах / В. В. Данилов, В. И. Тимченко // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации и вызовы современности: Материалы V Международной научной конференции (Донецк, 17-18 ноября 2020 г.). – Том 1. Физико-математические и технические науки. Часть 2 / Под общей редакцией проф. С. В. Беспаловой. – Донецк. Изд-во ДонНУ, 2020 г. – С. 158-161.

## ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА

*Долбещенкова Н.В., Яновский А.В.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
n.dolbeschenkova@donnu.ru

**Введение.** Проблематика информационной безопасности на современном этапе развития человечества распространяется практически на все сферы жизнедеятельности личности, общества и государств [1, 2]. Любая система связи (система передачи информации) состоит из источника информации, передатчика, канала передачи информации, приемника и получателя сведений [3]. Целью исследования являлась проверка возможности передачи информации по средству звукового канала связи, в частности с применением ультразвука.

**Основная часть.** Для проведения практических измерений был разработан макет, состоящий из излучателя AW8T40 и приемника AW8R40 (рис. 1).

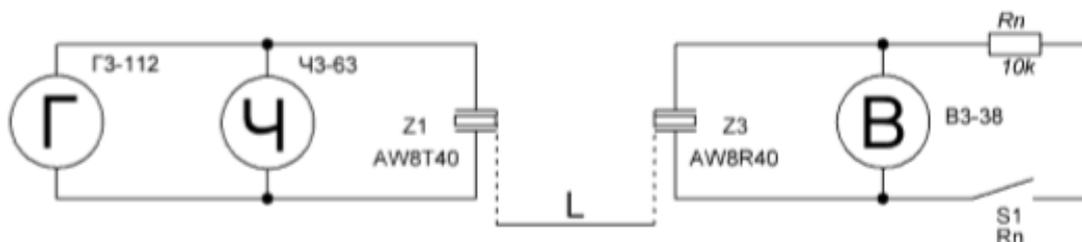


Рис. 1. Схема макета для проверки излучателя и приемника

В качестве источника сигнала выступал генератор Г3-112, форма сигнала была вставлена синусоидальная, амплитуда – 1В. Параллельно генератору подключен частотомер ЧЗ-63, используемый для контроля частоты. К приемнику был подключён милливольтметр переменного тока ВЗ-38. Расстояние между пьезокерамическим излучателем и приемником составило 15 см. Для определения просадки амплитуды с приёмника в зависимости от нагрузки, для измерений подключался нагрузочный резистор сопротивлением 10 кОм.

Ниже на рис. 2 приведены результаты проведения измерений АЧХ данного макета в диапазоне 39.0 – 41.0 кГц (XX- без нагрузки, Rn- с нагрузкой 10 кОм). Подключение нагрузки снижает добротность данной системы. Частота резонанса, находится в пределах 39.8 – 39.9 кГц. При увеличении расстояния между приемником и передатчиком амплитуда на приемнике уменьшается. Из представленного графика на рис. 3 можно сделать вывод, что система имеет довольно узкую диаграмму

направленности (порядка  $\pm 20^\circ$ ). Полученные результаты говорят о возможности применения данного макета для передачи данных на небольшие расстояния.

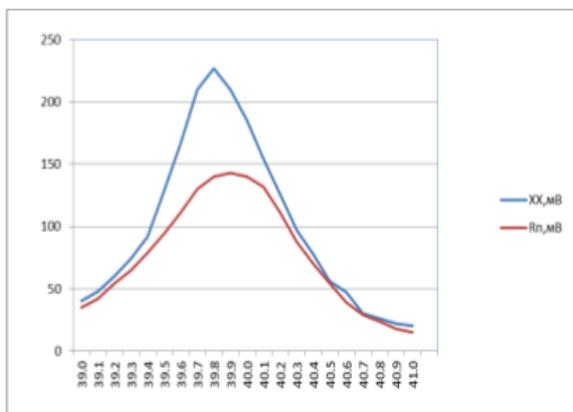


Рис. 2. Измеренная АЧХ макета

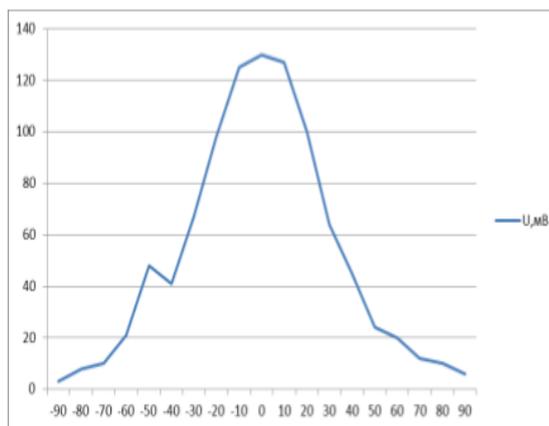
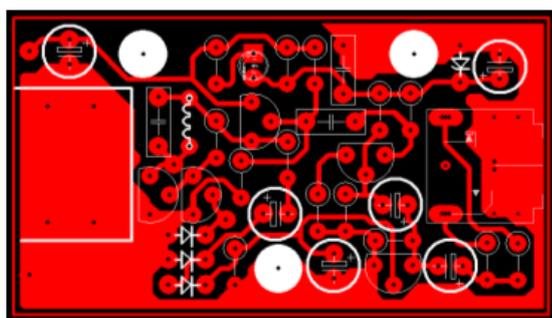


Рис. 3. Диаграмма направленности

Для дальнейшего исследования были разработаны схемы ультразвукового передатчика и приёмника ультразвукового сигнала. Передатчик позволяет производить амплитудную модуляцию ультразвукового излучения. Особенностью его схемы является включение пьезокерамического излучателя Cr1 в цепь обратной связи генератора, что позволяет поддерживать частоту генерации равную частоте резонанса пьезокерамического излучателя.

Под данную схему был разработана топология печатной платы в программе Sprint-Layout 5.0 (рис. 4 а) и произведен ее монтаж (рис. 4 б).



а)



б)

Рис. 4. а) топология печатной платы передатчика, б) налаженная плата передатчика

Приемник состоит из пяти блоков: пьезокерамического элемента Z1; усилителя на транзисторе T1; детектора на диодах VD2VD3; индикатора перегрузки на транзисторе T2; эмиттерного повторителя на транзисторе T3. Для регулировки чувствительности схемы служит переменный резистор R1.

На рис. 5 приведена АЧХ разработанного макета, состоящего из передатчика и приёмника, располагающихся на расстоянии около 0.5

метра. На передатчик поступал сигнал амплитудой 0.1 В. Из графика видно, что система имеет завал АЧХ на частотах свыше 800Гц.

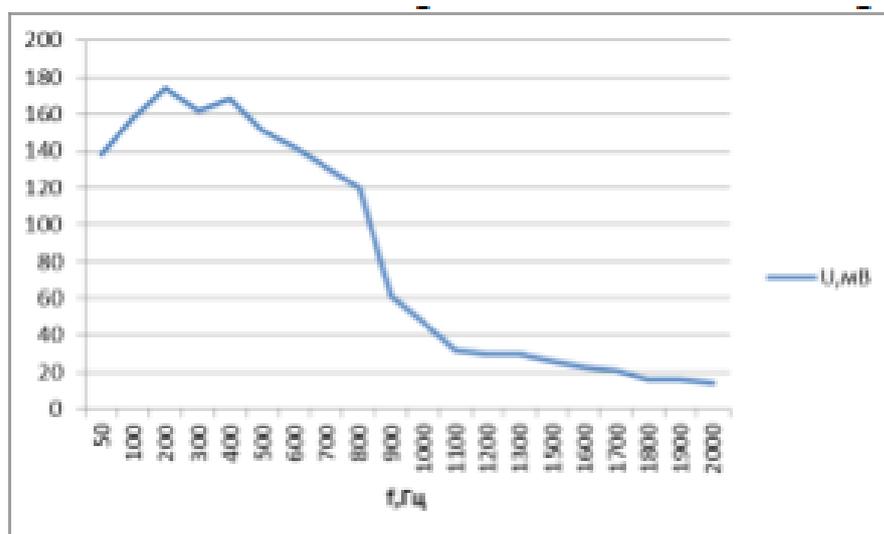


Рис. 5. Измеренная АЧХ макета

**Заключение.** В ходе проверки выявлено, что завал вызван пьезокерамическими элементами. Данное явление можно объяснить высокой добротностью пьезокерамических приборов, что говорит о необходимости разработки специализированных драйверов пьезокерамических излучателей для расширения АЧХ приемопередающих трактов на их основе.

#### Список литературы

1. Корнеев И. К. Информационная безопасность и защита информации: учеб. пособие / И. К. Корнеев, Е. А. Степанов. – Москва: ИНФРА, 2001. – 304 с.
2. Мельников В. П. Информационная безопасность и защита информации: учеб. пособие для студентов ВУЗов / В. П. Мельников, С. А. Клейменов, А. М. Петраков; под ред. С. А. Клейменова. – Москва: Академия, 2006. – 336 с.
3. Гришачев В. В. Анализ угроз утечки речевой информации через волоконно-оптические коммуникации. / В. В. Гришаев, Д. Б. Халяпин, Н. А. Шевченко // Вопросы защиты информации. – Москва: 2008. – №4. – С. 12-17.

## УЯЗВИМОСТИ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ

*Жинкина А.С., Джанджгава К.Г., Третьяков И.А.*, канд. техн. наук  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*a.zhinkina@donnu.ru*

**Введение.** На данный момент все большую популярность приобретают системы контроля доступа с применением радиочастотной идентификацией, этому способствует несколько весомых преимуществ, таких как высокая физическая надежность средств идентификации, повышенная надежность системы в целом за счет отсутствия механического износа и децентрализации обработки информации; бесконтактное считывание на расстоянии (от нескольких сантиметров до нескольких метров) без требования механического, контактного совмещения, в том числе считывание через неметаллические преграды (ленты конвейеров, стенки коробок и ящиков, стены зданий и т.п.). Единственным условием надежного считывания информации с RFID-метки является ее нахождение в зоне действия считывателя RFID [1].

Особое место получили RFID-метки в системах контроля и управления доступом. Применение данных систем позволяет организовать многоуровневый контроль доступа к объектам предприятия и контроль местоположения и времени работы персонала.

**Основная часть.** Как описывалось ранее, считать карту можно при помощи активного считывателя на расстоянии, однако в данной работе будет предложен еще один вариант хищения информации с карты. В основе данного метода лежит метод радиоразведки, а именно сканирование радиоизлучения на предмет наличия обмена данными между считывателем и меткой.

Зачастую, упрощенная схема СКУД на основе RFID имеет структуру, изображенную на рис. 1 [2].



Рис. 1. Упрощенная схема системы СКУД на основе RFID

Сущность описанного далее метода состоит в размещении вблизи считывателя или же на некотором удалении устройства, которое производит прием пакетов данных при считывании карты. Поскольку устройство является пассивным, а именно не излучает в радиодиапазоне, нет необходимости находиться в непосредственной близости к карте для осуществления запитки в случае применения пассивной метки. Пример упрощённой схемы с использованием сканера приведен на рис. 2 [3].

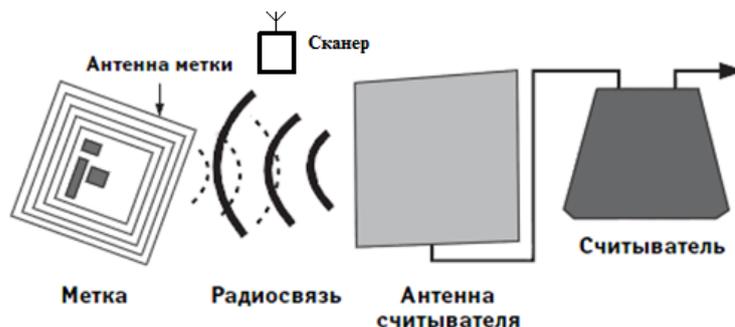


Рис. 2. Упрощенная схема системы СКУД на основе RFID с размещенным сканером

Недостатком данного метода можно указать ожидание считывания карты оригинальным считывателем для перехвата данных. В дальнейшем полученная информация может быть использована для проникновения на контролируемую территорию. Для дальнейшей работы, в ходе которой будет описан и проверен метод перехвата данных при считывании метки, будут использованы метки на частотный диапазон 125-134 кГц (LF). Для проверки возможности хищения информации был использован детектор, позволяющий оценить напряженность электромагнитного поля вблизи считывателя карт. Далее были произведены замеры напряжённости магнитного поля непосредственно над считывателем, для этого пробник размещался над считывателем. Для измерения напряжения использовался осциллограф, а переключатель режима пробника находился в состоянии детектируемого сигнала. При этом зависимость продетектированного напряжения при изменении расстояния между считывателем и пробником от 0 до 20 см, имеет вид, представленный на рис. 3.

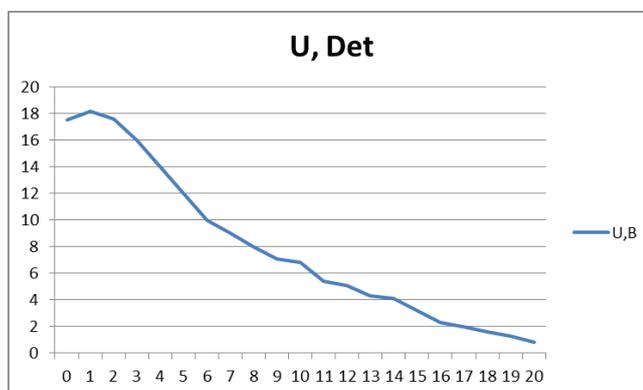


Рис. 3. Зависимость продетектированного напряжения при изменении расстояния между считывателем и пробником от 0 до 20 см

Осциллограмма, протестированного сигнала при считывании метки получена при помощи пробника в режиме детектора, приведена на рис. 4.

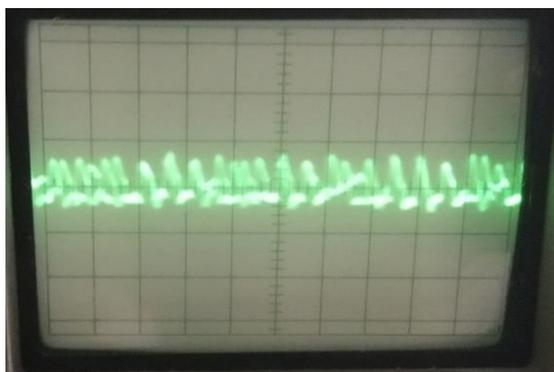


Рис. 4. Осциллограмма протестированного пробником сигнала (0.2 В/дел; 1 мС/дел;)

**Заключение.** Проверка показала работоспособность методики, так как считыватель успешно принимал данные при считывании считывателем метки, но для стабильности перехвата данных требовалось подобрать расстояние как от самого считывателя до метки, так и от метки до пробника, так как сигнал имел довольно малую глубину модуляции. Данная проблема может решиться применением узкоспециализированных приёмников, позволяющих принять сигнал с малыми глубинами модуляции и имеющими узкую полосу. В ходе проверки работоспособности глубина модуляции в зависимости от соотношения расстояний считыватель-метка-пробник изменялась от 1 до 5 %.

#### Список литературы

1. Дшхунян В. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты / В. Дшхунян, В. Шаньгин. – АСТ, ИТ Пресс, 2004. – 695 с.
2. Финкенцеллер Клаус. RFID-технологии: Справочное пособие / Клаус Финкенцеллер. – Додека XXI век, 2010. – 496 с.
3. Шарфельд Т. «Системы RFID низкой стоимости» с Приложениями Девиля И., Дамура Ж., Чаркани Н., Корнеева С. и Гуларии А. / Перевод с английского и научная редакция Корнеева С. – Москва, 2006. – 197 с.

## РАБОТА ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЕСТИРУЕМОМ WEB СЕРВЕРЕ

*Кожекина Е.Н., Гайван Б.В.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*gayvan25@gmail.com, e.kozhekina@donnu.ru*

**Введение.** В связи с ростом потребности у людей к получению быстрой и актуальной информации, сайты юридических или физических лиц перестали быть роскошью, а для поставщиков товаров и услуг стали необходимостью. Облачные сервисы дают преимущества поскольку они удешевляют производство и содержание информации, гарантируют доступ к информации и решают технические проблемы. Для предотвращения атак на web ресурс появилась необходимость в защите данных и доступа к ресурсу.

В данной работе рассмотрены сервисы и технологии для: защиты от DDOS атак, тестирование ресурса, защита от спама и создание приложения для демонстрации их работы.

Цель работы: проанализировать и исследовать работу облачных технологий на тестируемом web сервере.

**Постановка задачи.** Провести анализ существующие облачных технологии. Разработать программное обеспечение для проверки облачных технологий, предоставляющих информационно-технологическую защиту. Разработать облачный сервис. Протестировать и проанализировать разработанный web сервис.

**Основная часть.** В качестве тестирования выбран сервис стресс тестирования так – как у него есть доступ к API и он может обеспечить нагрузку в 10 тысяч соединений в секунду. Для обеспечения безопасности использовались популярные сервисы CloudFlare и reCAPTCHA V3.

Создано многопоточное приложение с неблокирующим потоком, в нем реализовано 3 типа дочерних процессов, которые общаются между собой через родительский поток. Также создан бот на стороннем сервисе и UDP сохранения информации о подключениях. Данное приложение устойчиво к высоким нагрузкам также имеет визуальный интерфейс для тестирования выбранных сервисов.

Организован облачный сервис, имеющий технические характеристики, указанные в таблице. С работающей защитой от DDoS, СПАМ защитой и доменом.

Результаты тестирования показали, обратный прокси сервер под управлением Nginx не справляется с крайне высокой нагрузкой. Однако данный сервис успешно справляется 3000 запросов в секунду, хотя мало такого рода сервисов могут получить данную нагрузку. Стоит отметить,

что при любых нагрузках обратный сервер тратил много меньше ресурсов чем NodeJS, что говорит о его успешной работоспособности. Также стоит учесть, что вышеуказанные нагрузки в течении длительного времени по сути своей являются DDoS атакой.

Таблица

Общая техническая характеристика

Тип оборудования	Название	Характеристика
Процессор	AMD RYZEN 4000H	CPU 8, 2.9 – 4.2 ГГц
Маршрутизатор	TP-LINK TL-WR740N	150 Мбит
Сеть	Matrix	75 Мбит
SSD диск	ST500LM021-1KJ152	500 Гб
Оперативная память		16 Гб
IP		109.254.92.110
Операционная Система		Windows 10
Домен		http://diplom2021.gq

Результат тестирования NodeJS показал работоспособность на всех заданных нагрузках. Данная платформа использовала основную нагрузку сервера.

Облачный сервис CloudFlare так же справился с защитой сервиса. В среднем на распознавание ему хватает 2 секунды и пропускает всего 2–3 тысячи запросов.

Самым проблемным сервисом для защиты стал reCAPTCHA V3. Связано это в первую очередь с отсутствием понятной логики работы данного сервиса и достоверной документации по работе и принятия оценки данным сервисом.

**Заключение.** Проведен анализ облачных технологий и разработана своя инфраструктура. Маршрутизация от TP-LINK TL-WR740N, операционная система Windows 10 на платформе NodeJS с обратным прокси сервером Nginx. Реализовано программное обеспечение с неблокирующим I/O и с ботом тестирующим на стороннем веб сервисе.

Результаты тестирования показали работоспособность NodeJS на всех заданных нагрузках, CloudFlare успешно справляется с защитой от DDoS атак, reCAPTCHA V2 при условии, что IP адрес является «чистым» ошибается при проверке на человека.

### Список литературы

1. Танненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Танненбаум. – СПб.: Питер, 2008. – 992 с.
2. Документация NodeJS модуль HTTP. Текст электронный. – URL: <https://nodejs.org/api/http.html> (дата обращения: 08.04.2021)
3. Paul Baecher, Niklas Büscher, Marc Fischlin and Benjamin Milde. Breaking reCAPTCHA: A Holistic Approach via Shape Recognition. Текст электронный // Future Challenges in Security and Privacy for Academia and Industry.–Springer Boston, 2011.– Vol. 354. – P. 56–67. – URL: [https://www.cryptoplexity.informatik.tu-darmstadt.de/media/crypt/publications\\_1/bbfm11b.pdf](https://www.cryptoplexity.informatik.tu-darmstadt.de/media/crypt/publications_1/bbfm11b.pdf) (дата обращения: 12.04.2021)

## РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*Кожекина Е.Н., Мышкин А.Е.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*par.m2010@yandex.ru, e.kozhekina@donnu.ru*

**Введение.** Искусственные нейронные сети стали важной частью нашей жизни и активно используются во всех областях, где традиционные алгоритмические решения работают не так хорошо или же не работают вовсе. Нейронные сети отлично справляются с распознаванием текстов, им доверяют работу по фильтрации спама, игру на биржах и работу с контекстной рекламой в интернете. Одной из наиболее значимых и перспективных сфер, в которой развивается эта технология, является безопасность: здесь речь идет как об отслеживании подозрительных банковских операций, так и о биометрической аутентификации (в частности системах распознавания лиц).

Цель работы – исследование параметров рекуррентной нейронной сети для распознавания человека по голосу и преобразования в текст

**Постановка задачи.** Разработка автоматизированной системы обнаружения с преобразованием в текст распознанных голосов для последующего исследования качества распознавания в зависимости от оптимизатора и его параметров.

**Основная часть.** Реализована программа для распознавания речи на основе рекуррентной нейронной сети с использованием библиотеки PyTorch. Программа сравнивает и распознаёт переданные ей файлы, содержащие записи голоса. Вначале файлы обрабатываются для удаления шумов из записи. Прописывается рекуррентная нейронная сеть. Кросс-энтропия измеряет расхождение между двумя вероятностными распределениями.

В данной работе используется усовершенствованный оптимизатор Adam, запускающий адаптивную оценку моментов.

Для сравнения были выбраны основные методы оптимизатора Adadelata, Adagrad, Adam, AdamW, Adamax, ASGD.

В ходе тестовых экспериментов оптимизатор Adadelata показал медленный рост процента оттренированных нейронов. Adagrad работает стабильно, однако, имеет низкий процент успеха для тестовых и тренировочных значений. Оптимизатор AdamDef достиг 100 % успеха, однако, в середине работы происходит переобучение. Тестовый эксперимент с AdamW показал наличие выброса в начале работы, после чего его работа стабилизируется. Adamax имеет высокий показатель оптимизации, но через каждые 400 циклов происходит переобучение, что было подтверждено при увеличении их общего количества.

У ASGD самые низкие показатели оптимизации. Он не подходит для решения данных задач.

Для AdamME на основании тестовых экспериментов, было определено, что для работы с этим видом данных больше всего подходит оптимизатор Адам.

**Заключение.** Разработана и реализована автоматизированная система распознавания голоса. Реализована модель нейронной сети, позволяющая распознать человека по голосу. Тестовые эксперименты с использованием различных оптимизаторов показали, наилучшие показатели были у усовершенствованной модели Адам, наихудшее ASGD.

#### **Список литературы**

1. Головки В. А. Нейронные сети: обучения, организация и применение / В. А. Головки. – М.: ИПРЖР, 2008. – 256 с.
2. Бондарко Л. В. Спонтанная речь и организация системы языка /Л. В. Бондарко // Бюллетень фонетического фонда русского языка. – 2001. – С. 17-23.

УДК 004.01

## **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ПРОВЕРКЕ ПОДЛИННОСТИ ДОКУМЕНТОВ**

*Костенков В.С., Данилов В.В., д-р техн. наук, проф.,*

*Тимошенко Н.А., канд. юр. наук, доц.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*vlad.kostenkov2016@yandex.ru*

**Введение.** Эффективность эксплуатации автоматизированных информационных систем (далее – АИС) электронного документооборота во многом зависит от совершенствования механизмов по обеспечению информационной безопасности. Важную роль в подобных системах занимает процедура контроля доступа пользователей. Она ориентирована на подтверждение легитимности той или иной операции с электронными документами. Однако увеличивающееся количество проводимых исследований [1-4] в данном направлении подчеркивает актуальность выбранной темы.

**Основная часть.** Образующим элементом разрабатываемой системы [5] является сеть передачи данных (далее – СПД). СПД состоит из центрального узла (далее – ЦУ), узлов (далее – УС) и каналов связи. В задачи ЦУ входят: 1) разработка и совершенствование нормативной правовой основы деятельности субъектов информационной системы; 2) контроль за выполнением нормативных документов; 3) организация и

осуществление мер по предупреждению, пресечению, выявлению и устранению правонарушений в действующей информационной системе; 4) выявление и устранение нерегламентированных возможностей информационной системы; 5) координация действий между УС; 6) распределение привилегий между всеми участниками информационной системы.

В задачи УС входят: 1) прием и последующая передача пакетов в направлениях, которые обеспечивают оптимальную доставку данных; 2) контроль за выполнением нормативных документов; 3) организация и осуществление мер по предупреждению, пресечению, выявлению и устранению правонарушений в подотчетной системе. Совокупность объединенных сетью передачи данных локальных серверов (далее – ЛС), подключаемых к узлам связи, образует локальную вычислительную сеть. Множество терминалов (Т) и средств связи (далее – СС), обеспечивающих подключение терминалов к ЛС, образует терминальную сеть.

С целью гарантированного предотвращения доступа к документу и его реквизитам [6] был разработан следующий алгоритм контроля доступа:

1. На первом этапе производится определения статуса пользователя по отношению к указанному документу. Возможны следующие сценарии поведения:
  - 1.1. В случае, если пользователь по условию данного документа отторгает права на предмет договора, то происходит переход к пункту 3 данного алгоритма с предоставлением полного доступа к реквизитам;
  - 1.2. В случае, если пользователь является одной из сторон подписантов данного документа, но не отторгает никаких прав, то происходит переход к пункту 2 данного алгоритма;
  - 1.3. В случае, если пользователь является представителем уполномоченного органа, то производится переход к пункту 2 данного алгоритма;
  - 1.4. В ином случае доступ на страницу запрашиваемого документа не производится, а пользователю соответствующая форма.
2. На втором этапе производится определение права доступа пользователя к каждому из имеющихся реквизитов в документе. Возможны следующие сценарии поведения:
  - 2.1. В случае, если пользователь является одной из сторон подписантов данного документа, то происходит чтение атрибутов доступа из таблицы «document\_for\_registration\_access». После чего происходит переход к пункту 3 данного алгоритма с выводом доступных реквизитов;
  - 2.2. В случае, если пользователь является представителем уполномоченного органа, то происходит чтение атрибутов доступа из сводной таблицы «tmp\_delegated\_user\_access\_for\_document». После чего происходит переход к пункту 3 данного алгоритма с выводом доступных реквизитов.

3. Предоставление доступа к документу запрашивающему пользователю

С целью построения гибкой поисковой системы в рамках данной АИС был разработан следующий алгоритм:

1. На первом этапе производится внесение пользователем в поисковую форму критериев отбора информации;
2. На втором этапе производится сортировка элементов входного массива требований по классификационным признакам с целью определения их предметной области. Иными словами, производится отнесение каждого из элементов входного массива к соответствующему исходящему, ведомственному запросу. Соответствует обмену информацией на уровне ЦУ – УС и УС – УС;
3. На третьем этапе производятся отправка и регистрация исходящих запросов к соответствующим ведомствам. На стороне ведомств происходит соответствующая регистрация входящих запросов;
4. На четвертом этапе производится классификация свойств каждого элемента входящего ведомственного запроса с целью определения их предметной области. Иными словами, производится отнесение каждого из элементов массива к соответствующему исходящему, подведомственному запросу. Соответствует обмену информацией на уровне УС – ЛС;
5. На пятом этапе производятся отправка и регистрация исходящих запросов к соответствующим структурным подразделениям. На стороне подразделений происходит соответствующая регистрация входящих запросов;
6. На шестом этапе производятся выборка информации из базы данных подразделения по заданным критериям поиска, последующая ее отправка ведомству и регистрация факта исходящего ответа. Соответствует обмену информацией на уровне ЛС – УС;
7. На седьмом этапе производятся регистрация факта получения ответов со стороны структурных подразделений, сбор результирующего ответа, фильтрация «чувствительной» информации, отправка ответа пользователю и регистрация факта исходящего ответа;
8. На восьмом этапе производятся регистрация факта получения ответов со стороны ведомств, сбор результирующего ответа, фильтрация «чувствительной» информации, предоставление доступа к документу запрашивающему пользователю и регистрация факта выполнения запроса.

Отличительной характеристикой данного алгоритма является возможность комбинирования нескольких состояний для каждого свойства. Также предусматривается возможность установления фильтров на запрашиваемую информацию в пунктах 2 и 4 данного алгоритма.

**Заключение.** 1) разработан алгоритм контроля доступа к документам и их реквизитам; 2) разработан алгоритм поисковой системы в АИС;

3) разрабатываемая система позволит производить проверку подлинности документов в режиме, близком к реальному времени.

#### Список литературы

1. Huawei: Обзор подходов к реализации аутентификации и авторизации в микросервисных системах [Электронный ресурс] / Хабр: Коллективный блог (сайт). URL: <https://habr.com/ru/company/huawei/blog/527098/> (дата обращения: 22.12.2020).
2. ASUS: Биометрическая аутентификация: истоки, хаки и будущее [Электронный ресурс] / Хабр: Коллективный блог (сайт). URL: <https://habr.com/ru/company/asus/blog/408407/> (дата обращения: 15.08.2021).
3. Лаборатория Касперского: MITM-атака на карты Visa [Электронный ресурс] / Хабр: Коллективный блог (сайт). URL: <https://habr.com/ru/company/kaspersky/blog/519098/> (дата обращения: 01.09.2021).
4. Разновидности систем контроля и управления доступом / Р.Р. Закороев, Д. К. Осипов, А. Ю. Зыбкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2019. – № 47 (285). – С. 82-84. – URL: <https://moluch.ru/archive/285/64305/> (дата обращения: 08.09.2021).
5. Костенков В. С. Особенности построения информационных систем в контексте проверки подлинности документов / В. С. Костенков, В. В. Данилов, Н. А. Тимошенко // Материалы XII Международной Интернет-конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика». – InnoTech-2020. – 7 с.
6. Костенков В. С. Особенности проверки подлинности документов и их авторства в контексте научно-технологического развития Российской Федерации / В. С. Костенков, Н. А. Тимошенко // Сборник основных докладов XXVIII Моисеевских чтений. Часть 2 (2-6 марта 2020 г.). – Москва – Н. Новгород: Минский университет, 2021. – С. 271-274.

УДК 004.732

## АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗВЕСТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КЛЮЧЕЙ АВТОРИЗАЦИИ ДОСТУПА БЕСПРОВОДНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

*Куринный Ф.А.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*fkurinnoy@gmail.com*

**Введение.** Наибольшее развитие современные механизмы обеспечения безопасности информационных ресурсов и технологий приобрели в США, национальные стандарты определяют основные преобразования, которые должны применяться в информационно-коммуникационных системах на всех этапах сбора, обработки и передачи критически важной информации, которая требует соответствующей защиты. Это, безусловно,

касается и методов и программно-технических средств (генераторов), которые применяются для формирования псевдослучайных последовательностей, в том числе и для генерации ключей различного назначения в современных информационно-коммуникационных системах [1].

**Основная часть.** Основным документом, который разработан и внедрен национальным институтом стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology – NIST) и определяющий рекомендации по построению генераторов псевдослучайных последовательностей с применением различных методов и соответствующего математического аппарата, является национальный стандарт NIST Special Publication 800-90A Recommendation for Random Number Generation Using Deterministic Random Bit Generators [2]. Рассмотрим основные положения этого документа, которые определяют различные подходы к формированию псевдослучайных последовательностей, исследуем свойства применяемого математического аппарата и обоснуем перспективные пути по совершенствованию соответствующих генераторов для формирования ключей авторизации подключений в универсальных беспроводных телекоммуникационных системах специального назначения.

Генераторы, определенных в стандарте NIST Special Publication 800-90A, поддерживают четыре уровня безопасности: 112, 128, 192 или 256 бит. Уровень безопасности приглашается приложением применения во время инициации, и функция инициации получает соответствующее количество энтропии для запрошенного уровня безопасности. Может быть востребован любой уровень безопасности (до 256 бит), но генератор будет инициировано в один из указанных уровней безопасности. Необходимый уровень безопасности, если он ниже 112 бит или между перечисленными четырьмя уровнями, будет инициирован к следующему высшему уровню (то есть при запрошенном уровне 80 бит будет инициировано 112 битный уровень безопасности). Реальный уровень безопасности, поддерживаемый данной инициацией, зависит от реализации генератора и от количества энтропии, переданной в функцию инициации.

Для удобства в стандарте использовано понятие «предел генератора» для объяснения операций и их взаимодействия. Предел генератора включает все функции и внутренние состояния, необходимые для работы генератора. Данные вводятся в границу генератора через публичные интерфейсы.

Каждый механизм генератора включает один или более криптографических примитивов (например, функцию хеширования). Другие приложения могут использовать тот же криптографический примитив, пока это не влияет на внутреннее состояние и функции генератора.

Функции генератора могут быть реализованы в одном устройстве, или могут быть распределены по нескольким приборам. Предел всего генератора должен включать совокупность подграниц, обеспечивающих

его функциональность. Использование распределенных функций генератора может быть полезным для ограниченных окружений (сред) (например, приложения для смарт-карт), в которых первостепенное использование генератора не требует периодического использования функций инициации.

Согласно основным положениям стандарта NIST Special Publication 800-90A определено несколько подходов к построению функции генерации и, соответственно, генераторов псевдослучайных последовательностей. Основными генераторами, которые приведены в спецификации, являются следующие:

- механизмы детерминированного формирования псевдослучайных последовательностей, использующих математический аппарат функций хеширования;
- механизмы детерминированного формирования псевдослучайных последовательностей, использующих блочное симметричное шифрование;
- механизмы детерминированного формирования псевдослучайных последовательностей, основанных на теоретико-числовых задачах.

Общая классификация методов формирования псевдослучайных последовательностей и соответствующих генераторов приведена на рис.

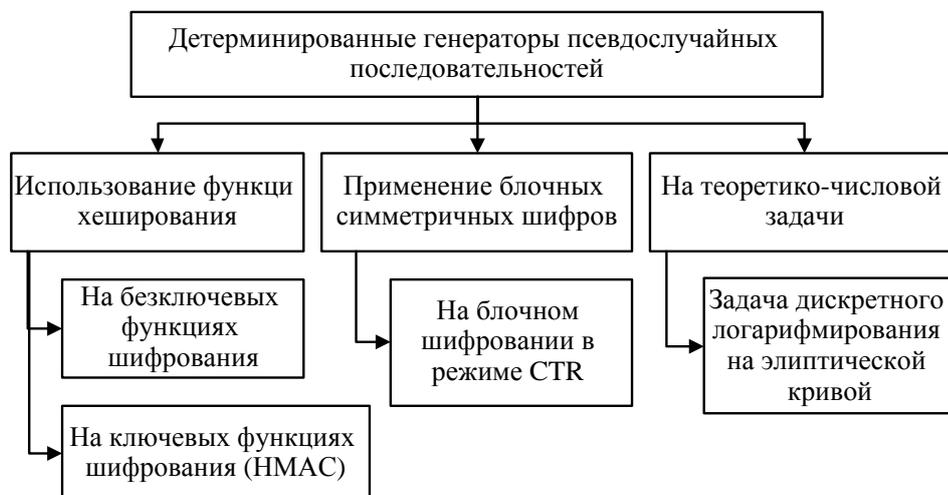


Рис. Общая классификация генераторов псевдослучайных последовательностей, которые специфицированы в NIST Special Publication 800-90A

Генераторы псевдослучайных последовательностей в соответствии со стандартом NIST Special Publication 800-90A могут быть основаны на использовании функций хеширования, которые являются необратимыми или односторонними функциями преобразований [2].

Максимальная безопасность, которую может поддерживать такой генератор, соответствует уровню безопасности применяемой функции хеширования. В качестве основного алгоритма хеширования предлагается

использовать хеш-функцию SHA, которая специфицирована в государственном стандарте [2]. Однако, для генераторов псевдослучайных последовательностей поддерживается только четыре уровня безопасности: 112, 128, 192, и 256 бит.

**Заключение.** Исходя из основных положений теории защиты информации при оценке уровня безопасности механизмов защиты вводят так называемые безусловные и условные показатели эффективности [2]. К безусловным относят показатели, выполнение требований по которым является безусловным, то есть необходимым критерием применения генератора, поскольку именно они и определяют достижения цели функционирования системы. В соответствии с этим к безусловным отнесем частичные показатели устойчивости (безопасности) генератора. Показатели быстродействия генератора отнесем к условным, поскольку повышение этого показателя является желательным, но не необходимым критерием применения генератора. Кроме того, с точки зрения обеспечиваемой безопасности генераторы, которые основаны на решении теоретико-числовой задачи, соответствуют модели доказательной безопасности и доверие к их показателям безопасности выше. Впрочем, следует отметить, что повышение показателей безопасности таких генераторов сопряжено с резким уменьшением быстродействия. Фактически, по скорости формирования псевдослучайных последовательностей генераторы на теоретико-числовых задачах значительно проигрывают конструкциям, например, на функциях хеширования и на блочных симметричных шифрах, причем этот проигрыш очень большой – три и более порядка.

Таким образом, проведенные исследования позволили обосновать выбор базовой схемы формирования псевдослучайных последовательностей для формирования ключей авторизации доступа в беспроводных телекоммуникационных системах и сетях. Наиболее целесообразным, с точки зрения показателей безопасности являются генераторы, которые основаны на теоретико-числовых задачах, безопасность которых и основывается на решении известной математической задачи.

### **Список литературы**

1. Основы радиоподсистемы беспроводных сетей Wi-Fi. Планирование радиопокрытия для скоростей 802.11n/ac [Электронный ресурс]//Ф. Ришар, В. Платов//Cisco Systems inc.-URL:[http://www.cisco.com/assets/global/RU/events/cisco-connect/presentation/amfi/18/11\\_20\\_12\\_20.pdf](http://www.cisco.com/assets/global/RU/events/cisco-connect/presentation/amfi/18/11_20_12_20.pdf) (дата обращения: 20.02.21)
2. Базовые положения стандарта IEEE 802.11n для сетей Wi-Fi [Электронный ресурс]//ZyXEL Communications Corp.-URL: <http://zyxel.ua/kb/2105> (дата обращения 18.02.21)

## ОСОБЕННОСТИ СКОРОСТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ СОСТАРЕННЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

*Малашенко В.В.*<sup>1,2</sup>, д-р физ.-мат. наук, проф.,

*Гладкая А.Д.*<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц., *Малашенко Т.И.*<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

<sup>3</sup>ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли», г. Донецк, ДНР

<sup>4</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

*malashenko@donfti.ru*

**Введение.** Лазерные технологии находят всё более широкое применение при обработке функциональных материалов и производстве готовых изделий благодаря уникальным свойствам лазерного излучения, позволяющим не только повышать качество и точность обработки, но и оказывать существенное влияние на различные свойства материалов, в том числе механические. Среди различных материалов, широко используемых в промышленности, особое место занимают различные сплавы. Для улучшения их механических свойств сплавы подвергают искусственному или естественному старению, в результате которого образуются так называемые зоны Гинье-Престона, которые в алюминиево-медных сплавах, например, представляют собой диски, состоящие из атомов меди и имеющие толщину от одного до нескольких атомных слоёв и радиус от нескольких нанометров до десятков нанометров. В состаренных сплавах присутствуют структурные дефекты, значительно отличающиеся своими размерами: атомы второго компонента (точечные дефекты) и зоны Гинье-Престона (наноразмерные дефекты). Таким образом, размеры дефектов, содержащихся в состаренных сплавах, могут отличаться на один-два порядка. Времена взаимодействия дислокации с такими дефектами будут отличаться на аналогичную величину. Это обстоятельство становится весьма существенным в случае высокоскоростной деформации, возникающей в сплавах под действием лазерных импульсов большой мощности, поскольку в этом случае дислокации совершают надбарьерное движение со скоростями, составляющими десятки, сотни и даже тысячи метров в секунду [1-3]. При этом скорость пластической деформации может равняться  $10^3 - 10^9 \text{ с}^{-1}$ . При высокоскоростной деформации большую роль начинают играть динамические эффекты, и наличие дефектов с существенно различными размерами приводит к усложнению зависимости механических свойств сплавов от условий их деформирования, в частности, от скорости деформации.

**Целью** настоящей работы является получение аналитической зависимости динамического предела текучести состаренного двухкомпонент-

ного сплава от скорости пластической деформации в условиях лазерного облучения высокой мощности.

**Основная часть.** Поставленная задача решается в рамках развитой нами теории динамического взаимодействия структурных дефектов [4-6].

Теория динамического взаимодействия структурных дефектов представляет собой модифицированную теорию Гранато-Люкке. Дислокация рассматривается как упругая струна, совершающая колебания в подвижной потенциальной яме, перемещающейся по кристаллу вместе с дислокацией. Эта потенциальная яма возникает в результате коллективного взаимодействия с дислокацией атомов второго компонента или других дислокаций ансамбля и приводит к возникновению щели в спектре колебаний дислокации

$$\Delta = \frac{c}{b} \sqrt{\rho b^2 + \sqrt{n_d} \chi^2} \quad (1)$$

Здесь  $n_d$  – безразмерная концентрация атомов второго компонента,  $\chi$  – параметр их несоответствия,  $c$  – скорость распространения в кристалле поперечных звуковых волн,  $\rho$  – плотность дислокаций,  $b$  – модуль вектора Бюргера.

Динамический предел текучести бинарного сплава равен сумме вкладов силы динамического торможения дислокаций зонами Гинье-Престона  $\tau_G$ , атомами второго компонента  $\tau_d$ , фононного торможения  $\tau_f$  и дислокационного торможения, определяемого соотношением Тейлора  $\tau_T$

Величина вклада  $\tau_T$  изучена достаточно подробно и определяется известным выражением

$$\tau_T = \alpha \mu b \sqrt{\rho} \quad (2)$$

Здесь  $\mu$  – модуль сдвига,  $\alpha$  – безразмерный коэффициент порядка единицы.

Воспользовавшись результатами теории динамического взаимодействия структурных дефектов, получим выражение для вклада атомов второго компонента

$$\tau_d = \gamma_d \frac{\dot{\epsilon}}{1 + (\dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_d)^2}; \quad \dot{\epsilon}_d = \rho b^2 \Delta; \quad \gamma_d = \frac{\pi \mu^2 n_d \chi^2}{3 m \rho b c \Delta^2} \quad (3)$$

Здесь  $\dot{\epsilon}$  – скорость пластической деформации.

Выполняя необходимые вычисления, получим выражение для вклада зон Гинье-Престона

$$\tau_G = \frac{\mu b R c}{\Delta} \frac{n_G}{1 + (\dot{\epsilon} / \rho R b \Delta)}; \quad (4)$$

Вклад фононного торможения  $\tau_f$  описывается известным выражением

$$\tau_f = \frac{B \dot{\epsilon}}{\rho b c} \quad (5)$$

Здесь  $B$  – константа демпфирования, обусловленная фононными, магннными или электронными механизмами диссипации.

Таким образом, зависимость динамического предела текучести от скорости пластической деформации примет следующий вид

$$\tau = \gamma_d \frac{\dot{\varepsilon}}{1 + (\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_d)^2} + \frac{\mu b R c}{\Delta} \frac{n_G}{1 + (\dot{\varepsilon}/\rho R b \Delta)} + \frac{B \dot{\varepsilon}}{\rho b c} + \alpha \mu b \sqrt{\rho} \quad (6)$$

Анализ полученного выражения показывает, что график этой зависимости может иметь два минимума и два максимума при выполнении условий

$$1 > \frac{B}{\gamma_d \rho b^2} > \left( \frac{b}{R} \right)^2 \quad (7)$$

При этом минимумы скоростной зависимости возникают при переходе от доминирования торможения одним типом дефектов к доминированию дефектов другого типа. Максимумы имеют место при изменении характера торможения доминирующими дефектами.

**Заключение.** Проведенный анализ показывает, что в условиях высокоскоростной деформации, инициированной мощными лазерными импульсами, скоростная зависимость динамического предела текучести состаренных бинарных сплавов имеет весьма сложный и немонотонный характер. Данное обстоятельство необходимо учитывать при выборе оптимального режима обработки и эксплуатации изделий из состаренных сплавов.

### Список литературы

1. Daniel N. Dislocation drag and its influence on elastic precursor decay / N. Daniel, Blaschke, J. Darby, Luscher // *International Journal of Plasticity*. – 2021. – V. 144. – P. 103030.
2. Tramontina D. Molecular dynamics simulations of shock-induced plasticity in tantalum / D. Tramontina, E. Bringa, P. Erhart, J. Hawreliak, T. Germann, R. Ravelo, A. Higginbotham, M. Suggit, J. Wark, N. Park, A. Stukowski, Y. Tang // *High Energy Density Physics*. – 2014. – V. 10. – P. 9-15.
3. Yanilkin A.V. Dynamics and kinetics of dislocations in Al and Al-Cu alloy under dynamic loading / A.V. Yanilkin, V.S. Krasnikov, A.Yu. Kuksin, A.E. Mayer // *International Journal of Plasticity*. 2014. – V. 55. – P. 94-107.
4. Malashenko V.V. Dependence of Dynamic Yield Stress of Binary Alloys on the Dislocation Density under High-Energy Impacts / V.V. Malashenko // *Physics of the Solid State*. – 2020. – V. 62. – № 10. – P. 1886–1888.
5. Malashenko V. V. The Influence of Collective Effects on the Concentration Dependence of the Yield Stress of Alloys under High-Energy Impacts / V. V. Malashenko // *Technical Physics Letters*. – 2020. – V. 46. – № 9. – P. 925–927.
6. Malashenko V. V. Influence of the Guinier–Preston Zones on the Concentration Dependence of the Yield Point of the Aged Two-Component Alloys in Conditions of High-Speed Deformation / V.V. Malashenko // *Physics of the Solid State*. – 2019. – V. 61. – № 10. – P. 1800-1803.

## АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА, ПРИНИМАЕМОГО SDR СИСТЕМОЙ

*Рушечников Я.И.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*ya.rushechnikov@donnu.ru*

**Введение.** Определение типа и параметров сигнала, принимаемого радиосистемой является одной из перспективнейших задач, которая может решаться в рамках автоматизированной системы радиомониторинга. Сама концепция программно-определяемого радио (SDR) не содержит методов и механизмов, которые реализуют автоматическое определение типа модуляции радиосигнала, [1, 2] что в свою очередь позволило бы получить следующие характеристики принимаемых сигналов:

- класс обнаруженного сигнала в зависимости от диапазона частот
- тип несущей у сигнала
- скорость приёма в рамках информационного взаимодействия

Сама задача автоматизированного определения типа модуляции не была бы столь сложной, если бы не природа информационного обмена в современных беспроводных системах. Всё дело в том, что выделяют аналоговые и цифровые способы беспроводной передачи и приёма. В случае цифровых систем задача сводится к определению принадлежности сигнала к какому-либо цифровому протоколу передачи информации. Это всё возможно благодаря определению паттернов для каждого конкретного цифрового протокола (начало и конец кадра, старт и стоп биты, поля с данными фиксированного размера).

Совсем иначе обстоят дела с аналоговыми сигналами, особенно это касается задач передачи голоса. Данный тип передачи не содержит однозначных признаков, и классификация аналоговых типов модуляции трансформируется в вероятностные задачи.

**Актуальность** данной темы обусловлена постоянным и прогрессивно растущим объёмом данных в радиоэфире, которые необходимо правильно обрабатывать и на их базе строить аналитические системы радиомониторинга. К примеру на стороне приёмника принят условный сигнал с определённым типом модуляции, и по его характеристикам можно с некой долей вероятности судить о типе передатчика, и о том, является ли данный сигнал разрешённым в данных границах приёма.

Кроме того актуальность данного исследования подкреплена ростом и высокой доступностью средств прямой работы с радиоэфиром (SDR систем), которые при невысокой цене имеют продвинутые характеристики.

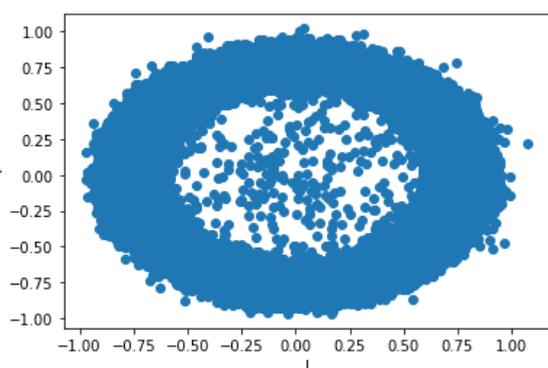
**Целью** настоящего исследования послужило всестороннее исследование потоков данных SDR системы, а так же выработка механизма и

методической базы по автоматизированной классификации типа модуляции сигналов.

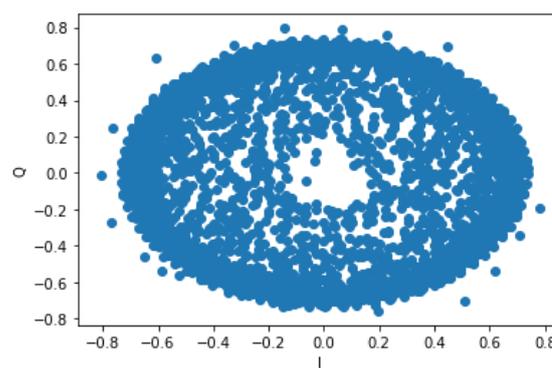
В качестве платформ для моделирования и получения данных о состоянии радиообстановки использовались SDR системы HackRF One и RtlSDR.

Для исследования использовались следующие методы: общенаучные (анализ, синтез, моделирование, классификация, эксперимент). Для реализации цели был проведен ряд экспериментов по накоплению и обработке полученной информации в контролируемых условиях на основе которой при помощи механизма глубоких нейронных сетей удалось получить вероятностный автоматизированный алгоритм по классификации (дифференцированию) аналоговой модуляции АМ от других видов модуляций.

**Результаты исследования.** В результате моделирования и накопления экспериментальных данных (многократной записи специально сформированной последовательности, которая проигрывалась на частоте 167.5 МГц с амплитудной модуляцией) удалось собрать набор данных для обучения глубокой нейронной сети, построенной по свёрточной архитектуре. Каждая выборка полученных данных представляла собой комплексное число, описывающее состояние радиоканала в конкретный момент времени. При попытке визуализации результатов представления сигналов на разных частотах и с разными типами модуляции (рис.), однозначных критериев классификации для различения сигналов нет, но при накоплении большого количества одинаковых сигналов и получения наибольшего количества вариаций, можно построить нейронную сеть, которая будет в состоянии обобщить составляющие сигнала и с определённой долей вероятности его классифицировать.



а) Визуализация записи FM модулированного сигнала на частоте 100 МГц (вещательная станция)



б) Визуализация записи АМ модулированного сигнала на частоте 167,5 МГц

Рис. Формы сигналов в зависимости от типов модуляции

**Заключение.** Стоит отметить, что результат проделанной работы – формализованный и реализованный алгоритм, который в автоматическом режиме позволяет определять тип модуляции принимаемого сигнала, что в

свою очередь позволяет решать некоторые из задач автоматизированного радиомониторинга. Определение типа модуляции в рамках системы радиомониторинга позволит сузить и выделить набор специфических задач, в зависимости от типа сигнала. К тому же автоматическое определение модуляции – одна из важнейших концепций когнитивного радио.

#### Список литературы

1. Zhu Z. Automatic classification of digital communication signal modulations. PhDthesis, Brunel University. (2014)16.
2. Zhu Z. and Nandi A.K. Automatic Modulation Classification: Principles, Algorithms and Applications. Wiley. 66–69 (2015).

УДК 621.382.34

### КВАНТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОТОКА В АЛМАЗНЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

**Тимченко В.И.<sup>1</sup>**, канд. физ.-мат. наук, доц., **Сорока В.А.<sup>2</sup>**,  
**Подлесный В.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, ДНР  
*vlitim@mail.ru*

Изучение процессов электропроводности алмазных поликристаллических пленок (АПП) в зависимости от внешних условий служат не только основой для дальнейшего развития оптоэлектроники, но и позволяет определить области практического использования материалов, обладающих уникальными характеристиками. В настоящее время данные экспериментальных исследований АПП ограничены, как в отношении числа изученных объектов, так и самого диапазона исследований.

Электропроводность алмазных пленок, выращенных на чужеродной подложке осуществляется через единичные кристаллиты или через систему кристаллитов, а также вдоль границ кристаллитов [1]. Проводимость в таких пленках определяется термической активацией носителей с примесных уровней и их переходом через энергетические барьеры, которые возникают на границах зерен.

Понижение межкристаллитного барьера частично компенсируется за счет дополнительного захвата носителей на уровни пограничного состояния межкристаллитного барьера. Захват носителей на энергетические уровни пограничных состояний приводит к возникновению вблизи границ зерен слоев обеднения носителями и связанных с ними межкристаллитных потенциальных барьеров. На пограничном слое растет плот-

ность концентрации носителей. Таким образом, на границе барьера происходит дополнительное искривление зон, как показано на рис. 1 [2, 3].



а – равновесные условия

б – неравновесные условиях ( $E \neq 0$ )

Рис. 1. Энергетическая диаграмма кристаллита

При известных значениях работ выхода различных материалов можно предположить, что на границе раздела АПП–W возникает нейтральный контакт, который не должен создавать дополнительных барьеров и искривлений в приконтактной области зон проводимости. Наличие блокирующего контакта на границе раздела пленка – подложка будет сильно влиять на электрофизические свойства АПП, что необходимо было учитывать при изучении электрофизических свойств МДП–структур.

Захват носителей заряда на оборванные связи атомов приводит к изгибу зон на межзеренных границах и образованию межкристаллитного барьера, который ограничивает перенос заряда между зернами, как показано на рис. 1а. При взаимодействии с границей зерна носители могут туннелировать сквозь возникающий барьер на границе или захватываться пограничными состояниями.

При условии, когда величина смещения потенциала  $V_1(u)$  и  $V_2(u) \ll kT$  величина изгиба зон вблизи границ зерен определяется выражениями [4].

$$V_1(U) = U_0 \cdot \left(1 - \frac{q \cdot U}{4U_0}\right)^2 \quad \text{– слева от границы}$$

$$V_2(U) = U_0 \cdot \left(1 + \frac{q \cdot U}{4U_0}\right)^2 \quad \text{– справа от границы}$$

При взаимодействии с границей зерна носители могут туннелировать сквозь возникающий барьер на границе или захватываться пограничными состояниями. Вероятность туннелирования определяется дрейфовыми скоростями, которые связаны со смещением пограничных уровней

$$u_1(U) = \frac{\mu \cdot kT}{q \cdot L_D} \cdot \sqrt{\frac{2V_1(U)}{kT}} \quad \text{– слева от границы,} \quad \mu \text{– подвижность носителей.}$$

$$u_2(U) = \frac{\mu \cdot kT}{q \cdot L_D} \cdot \sqrt{\frac{2V_2(U)}{kT}} \quad \text{– справа от границы,}$$

В АПП по данным она составляет  $\sim 1.5 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$  в разных источниках. Суммарный ток через кристалл определяется проводимостью зерен, механизмом переноса носителей из одного зерна в другое по межзеренным границам, и возможно туннелированием.

Плотность тока с учетом возможного туннелирования носителей и захвата носителей на пограничные состояния определяется как:

$$J = \left( \frac{qU_0 n_0 \Theta_D}{1 + \gamma(U)} \right) \exp\left( \frac{-V_1(U)}{kT} \right) \left( 1 - \exp\left( \frac{-qU}{kT} \right) \right)$$

где  $\gamma(U)$  – слагаемое, учитывающее направленное туннелирование, которое равно:

$$\gamma(U) = \langle V_0 \rangle \left( \frac{1}{u_1(U)} + \frac{1}{u_2(U)} \right) \Theta_D$$

где  $\langle V_0 \rangle$  – средняя тепловая скорость носителей,  $n_0$  – равновесная концентрация носителей.

Воздействие внешнего монохроматического модулированного излучения на поверхность кристаллитов позволяет понизить межкристаллитные барьеры за счет дополнительной генерации неравновесных носителей.

Проведенные исследования вольт-амперных характеристик МДП – структуры (металл-АПП-полупроводник) и МДМ – структуры (металл диэлектрик – металл) показали анизотропию электропроводности алмазных поликристаллических пленок, которая проявлялась в преимущественном переносе заряда по поверхности пленки.

Под действием модулированного монохроматического света переменная составляющая сигнала фотоотклика связана с омическим механизмом проводимости во всем интервале напряженности электрического поля, как видно из рис.2. Было получено, что переменная составляющая плотности тока от напряженности поля имеет линейную зависимость вплоть до  $E=5,5 \text{ кВ/см}$  при облучении монохроматическим светом в видимом и ближнем ИК диапазонах (500-1500 нм).

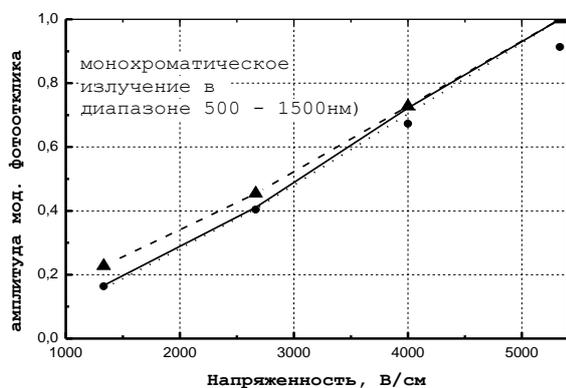


Рис. 2. Зависимость нестационарного фотоотклика АПП при  $E \leq 5,5 \text{ кВ/см}$

В работе было получено, что определяемый по переменной составляющей падения напряжения на нагрузке с сопротивлением  $R=4.7 \text{ МОм}$  индуцированный в алмазной пленке фототок при  $\lambda=560 \text{ нм}$  изменяется от  $\sim 0.2 \text{ нА}$  (200 В) до почти  $2 \text{ нА}$  (800 В). При указанной длине волны АПП обладали наибольшей проводимостью, что соответствует наиболее выраженному максимуму фотоотклика.

Можно считать, что под действием модулированного монохроматического света переменная составляющая фотоотклика связана с омическим механизмом проводимости во всем интервале напряженности электрического поля.

#### Список литературы

1. Кулакова И. И. Химия поверхности наноалмазов / И. И. Кулакова // Физика твердого тела. – 2004. – Т. 46, вып. 4. – С. 621–628.
2. Доцанов К. М. Теория переноса заряда в поликристаллических полупроводниках с глубокими примесными центрами / К. М. Доцанов // ФТП. – 1998. – Т. 32, №6. – С. 690-695.
3. Доцанов К. М. Обобщенная модель электропроводности поликристаллических полупроводников / К. М. Доцанов // ФТП. – Т. 28, №4. – 1994. – С. 692-700.
4. Тимченко В. И. Вклад поверхностных состояний в электроперенос алмазной поликристаллической пленки / В. И. Тимченко, В. А. Сорока // Сборник докладов, Второй международной периодической научно-практической конференции «Спецпроект – анализ научных исследований», Днепропетровск. – 2005. – С 66-71.

УДК 004.93:519.217

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ИХ РЕШЕНИЯ

*Третьяков И.А.*, канд. техн. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*i.tretiakov@mail.ru*

**Введение.** Скрытая марковская модель – статистическая модель, имитирующая работу процесса с неизвестными параметрами, который считается Марковским. Причем неизвестно текущее состояние системы, однако каждое состояние может с некоторой вероятностью произвести событие, которое можно наблюдать. Задачей такой модели является получение неизвестных параметров на основе наблюдаемых [1]. Параметры, определенные таким образом могут быть использованы в дальнейшем при распознавании образов [2].

**Формальное определение компонентов скрытых марковских моделей.** Для определения скрытой марковской модели необходимо задать следующие компоненты:

- $N$  – число состояний в модели;
- $M$  – число различных символов наблюдения, которые могут порождаться моделью (размер дискретного алфавита);
- $A$  – матрицу вероятностей переходов между состояниями (вероятность перехода из состояния  $i$  и в состояние  $j$ );

- $B$  – матрицу вероятностей появления символов наблюдения в  $j$ -том состоянии;
- $\pi$  – матрицу вероятностей начальных состояний.

Таким образом, полное описание скрытой марковской модели предполагает задание двух параметров модели  $N$  и  $M$ , множества допустимых символов наблюдения  $T$  и трёх вероятностных мер  $A, B, \pi$ . Множество параметров модели можно обозначить следующим образом:

$$\lambda = (A, B, \pi). \quad (1)$$

Далее описаны основные существующие проблемы, без решения которых невозможно использование вышеописанной модели при решении практических задач.

**Проблема оценки вероятности.** Пусть задана последовательность наблюдений  $O = \{O_1, O_2, O_3 \dots O_T\}$  и модель (1). Необходимо эффективно вычислить вероятность появления этой последовательности наблюдений для данной модели, т. е. значение  $P(O|\lambda)$ . Эта проблема решается как обычная задача оценивания, в которой известны параметры модели, последовательность наблюдений и требуется вычислить вероятность того, что эти наблюдения порождены заданной моделью. Данную проблему позволяет решить применение алгоритма «прямого-обратного хода» – алгоритма расчета апостериорных вероятностей последовательности состояний  $Q$  при наличии последовательности наблюдений  $O$ . [3].

**Проблема декодирования.** Пусть задана последовательность наблюдений  $O = \{O_1, O_2, O_3 \dots O_T\}$  и модель (1). Необходимо найти последовательность скрытых состояний  $Q = \{Q_1, Q_2, Q_3 \dots Q_T\}$ , которая наиболее оптимальным образом соответствует последовательности наблюдений  $O$ . Проблема заключается в том, что множество различных последовательностей состояний  $Q$  могут выдать одну и ту же наблюдаемую последовательность  $O$ . Для каждой наблюдаемой последовательности  $O$  необходимо выбрать скрытые состояния  $Q$ , имеющие наивысшую вероятность выработки наблюдений, что осуществляется с помощью введения некоторого критерия оптимальности. Данную проблему позволяет решить применение алгоритма динамического программирования Витерби – алгоритма поиска наиболее подходящего списка состояний, который в контексте цепей Маркова получает наиболее вероятную последовательность произошедших событий. Является алгоритмом динамического программирования [4].

**Проблема обучения.** Опять же, задана последовательность наблюдений  $O = \{O_1, O_2, O_3 \dots O_T\}$  и модель (1). Необходимо настроить параметры модели (1) таким образом, чтобы максимизировать значение  $P(O|\lambda)$ . Проблема решается как задача оптимизации параметров, в которой необходимо изменить значения матриц вероятностей скрытой

марковской модели таким образом, чтобы модель наилучшим образом соответствовала имеющимся наблюдениям. Иными словами, необходимо обучить СММ на массиве тренировочных последовательностей наблюдений. В процессе обучения, в соответствии с выбранным критерием оптимальности, осуществляется подстройка значений параметров модели по данным наблюдений, в результате чего образуется модель, наилучшим образом подходящая к имитации реального явления. Данную проблему позволяет решить применение алгоритма Баума-Велша, который использует алгоритм прямого-обратного хода и является частным случаем обобщённого EM-алгоритма (ожидание-максимизация) [5].

**Заключение.** В работе рассмотрена проблематика теории скрытых марковских моделей, а также способы решения основных проблем, без чего невозможно применение этой теории при решении практических задач.

#### Список литературы

1. Скрытая марковская модель [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Скрытая\\_марковская\\_модель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Скрытая_марковская_модель) (дата обращения 20.09.2021 г.).
2. Huang X. Hidden Markov Models for Speech Recognition / X. Huang X., M. Jack, Y. Ariki. – Columbia University Press, 1990. – 276 p.
3. Yu S.-Z. An Efficient Forward-Backward Algorithm for an Explicit- Duration Hidden Markov Model / S.-Z. Yu, H. Kobayashi // IEEE Signal Processing Letters. – 2003. – Vol. 10. – № 1. – P. 11-14.
4. Forney D. G. The Viterbi Algorithm / D. G. Forney // Proceedings of the IEEE. – 1973. – Vol. 61. – № 3. – P. 268-278.
5. Welch L. R. Hidden Markov Models and the Baum-Welch Algorithm / L. R. Welch // IEEE Information Theory Society Newsletter. – 2003. – Vol. 53. – № 4. – P. 10-13.

УДК 004.93:519.217

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭХО-ЭФФЕКТА

*Третьяков И.А.*, канд. техн. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*i.tretiaikov@mail.ru*

**Введение.** Явление спинового эхо сегодня используется для получения информации о структуре исследуемых образцов. Возможность изучения свойств твердого тела на атомном или молекулярном уровне является одним из основных достоинств ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Краткий теоретический анализ явления ядерного спинового эха

позволяет сделать очень важный вывод о том, что возможность комбинации структур возбуждающих импульсов и изменения последовательности возбуждения делает ЯМР эхо-процессор многофункциональным устройством, ядром которого является ферромагнитный образец – спиновое тело, определяющее его основные технические характеристики [1].

Основными параметрами подобных устройств являются: рабочая частота; полоса пропускания; динамический диапазон; информационная емкость; длительность обрабатываемых сигналов; допустимая частота повторения; температурная стабильность; масса устройства; энергоемкость. Соответственно сформулированы и основные характеристики рабочих материалов ЯМР-процессоров: частота магнитного резонанса; ширина спектра; максимальная амплитуда эха; переходное затухание; времена продольной ( $T_1$ ) и поперечной ( $T_2$ ) релаксации; температурная стабильность; информационная емкость [2].

**Особенности основных характеристик рабочих материалов спинового тела.** Уникальные свойства ЯМР-процессоров определяются конкретным видом используемого типа резонансного явления в рабочем материале. Область частот электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) лежит в сантиметровом диапазоне длин волн, а область частот ЯМР в парамагнитных материалах – в метровом. Область частот ЯМР в магнитоупорядоченных веществах находится в диапазоне от единиц до тысяч мегагерц. Так, например, для ферромагнетиков диапазон рабочих частот 30 – 300 МГц (ЯМР на ядрах  $Fe^{57}$ ,  $Co^{59}$ ,  $Ni^{61}$  в различных соединениях), полоса пропускника 0,5 – 20,0 МГц, время ввода в обработки сигналов ограничены значениями времени релаксации 20–1000 мкс для  $T_2$  и 200–500 мкс для  $T_1$  при температуре 300 К. Однако при массивных ферромагнетиках (типа ферритов) по величинам переходного затухания и динамического диапазона ЯМР-процессоры уступают традиционным устройствам обработки. Наибольший интерес представляют ЯМР-процессоры с магнитными материалами, в которых резонанс можно наблюдать во внутренних локальных полях в отсутствии внешнего магнитного поля. При использовании в эхо-процессорах в качестве рабочего тела пакетированных многослойных тонких магнитных пленок указанные недостатки устраняются и одновременно обеспечивается возможность миниатюризации ЯМР-процессоров. Резонансные частоты ядер  $Fe^{57}$  лежат в диапазоне частот от 40 до 80 МГц,  $Cr^{53}$  – 40–70,  $Ni^{61}$  – 25–60,  $Co^{59}$  – 100–220,  $Mn^{55}$  – 300–700, редкоземельных элементов – 500–5000 МГц.

Максимальный динамический диапазон ЯМР-процессора определяется логарифмом отношения максимальной амплитуды эха к напряжению шумов. Амплитуда ядерного эха зависит от многих причин, в частности от количества ядер, величины магнитного момента, коэффициента усиления радиочастотного поля, температуры образца.

Информационная емкость для ЯМР-процессора определяется произведением полосы пропускания на максимальную длительность обработки

ваемого импульса. Информационная емкость процессора ограничивается информационной емкостью материала, определяемой как произведение ширины спектра на время поперечной релаксации. Максимальная длительность сигнала определяется временем поперечной релаксации, а допустимая частота повторения – временем продольной релаксации.

Стабильность технических характеристик ЯМР-процессоров в основном определяется температурной стабильностью параметров материала в заданном интервале температур.

**Перспективные материалы для разработки устройств на эффекте спинового эха.** Ферриты со структурой граната достаточно подробно исследовались методом ЯМР. Ферриты-гранаты с общей формулой  $Me_3Fe_5O_{12}$  (где  $Me$  – ионы редкоземельных металлов или иттрия) имеют объемно-центрированную кристаллическую решетку. Ионы иттрия (или элементов группы редких земель) складываются в додекаэдрическую подрешетку. Ионы трехвалентного железа могут занимать октаэдрические и тетраэдрические позиции. При замещении в ферритах ионов железа на ионы галлия, индия и алюминия, кальция и ванадия частота ЯМР понижается, а спектр заметно расширяется.

В элементарной ячейке ферритов со структурой шпинели, имеющих общую формулу  $MeFeO_4$  (где  $Me$  – ион двухвалентного металла), содержится 8 ионов железа, которые располагаются в тетраэдрических положениях, и 16 ионов – в октаэдрических. Спектр ЯМР, например, для никелевого феррита состоит из двух линии, отстоящих друг от друга (по частоте) на 5 МГц. Частота 67,5 МГц соответствует резонансу ядер трехвалентного железа, находящихся в тетраэдрических положениях частота 72,5 МГц соответствует резонансу ядер железа, находящихся в октаэдрических положениях. Время релаксации  $T_1 = 3$  мс,  $T_2 = 0,5$  мс.

В области составов  $BaO-MeO-Fe_2O_3$  (где  $Me$  – ион двухвалентного металла) возможен синтез различных магнитных соединений, получивших название M- W-, Z-, Y-структур. Наличие большого поля анизотропии в гексагональных ферритах приводит к малым значениям коэффициента усиления радиочастотного поля. Поэтому интенсивность сигналов ЯМР в гексагональных ферритах на порядок меньше, чем в ферритах со структурой граната для шпинели.

Использование пленок и сплавов металлов в ЯМР-процессорах является весьма перспективным, поскольку они в ряде случаев позволяют получить сильные сигналы ядерного эха. Например, в пленках железа, обогащенного изотопом  $Fe_{57}$ , наблюдается сильное ядерное эхо на частоте 46,6 МГц, полоса ЯМР составляет 0,3 МГц, время релаксации  $T_2=5$  мс,  $T_1=10$  мс. В пленках кобальта удается создать одноосную анизотропию и сориентировать магнитные моменты в плоскости пленки в процессе их напыления в магнитном поле. Благодаря большому ядерному моменту, стопроцентному естественному содержанию изотопа кобальта и малому

полю анизотропии в пленках наблюдаются следующие параметры ЯМР:  $f_0=213$  МГц,  $\Delta f=10 - 12$  МГц,  $T_1=135 - 170$  мкс,  $T_2=26 - 28$  мкс, коэффициент переходного затухания – 30–40 дБ.

Наиболее полно методом ЯМР исследованы слабые антиферромагнетики  $FeVO_3$  и  $FeF_3$ . Спектр ЯМР от ядер  $Fe_{57}$  в  $FeVO_3$  при 300 К состоит из одной интенсивной линии на частоте 46,4 МГц, полоса частот – 30 кГц, коэффициент усиления радиочастотного поля – 106,  $T_1=100$  мкс,  $T_2=90$  мкс. Интересной особенностью  $FeVO_3$  является то, что его доменная структура может быть оптически управляемой под воздействием лазерного излучения. Использование редкоземельных металлов позволяет получать ядерный магнитный резонанс на частотах от 150 МГц (ядра европия) до 6,5 ГГц (ядра гольмия).

**Заключение.** Таким образом, в настоящее время имеется достаточно большой выбор материалов для спинового тела ЯМР-процессоров. Дальнейшие исследования в области создания устройств обработки радиотехнических сигналов на спиновом эхе связаны с поисками оптимальных рабочих материалов, определяющих их свойства.

#### Список литературы

1. Третьяков И. А. Теоретические основы реализации устройств телекоммуникаций на принципах функциональной электроники / И. А. Третьяков, В. В. Данилов // Вестник Академии гражданской защиты. – 2021. – № 2(26). – С. 51-58.
2. Куневич А. В. Материалы для устройств на эффекте спинового эха / А. В. Куневич, В. В. Филиппов. – Москва. – Наука. – 2001. – 40 с.

УДК 622.1:528:518.5

### ПРИМЕНИМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОЛН ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

**Трофимов В.В.**, канд. техн. наук, **Кутенов Д.В.**, **Решетняк Т.А.**

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), г. Донецк, ДНР  
*ranimi@ranimi.org*

Необходимость надежного прогноза горно-геологических условий залегания обрабатываемых угольных пластов привела к разработке современных геофизических методов прогнозирования, особое место среди которых занимает сейсморазведка, отличающаяся высокой надежностью и эффективностью. К настоящему времени накоплен значительный опыт в области сейсмических исследований, получены научные и практические результаты, существенно расширившие область применения сейсмоакустических методов в разведке угольных месторождений.

Обобщение результатов сейсмических исследований на шахтах Донбасса позволило выделить наиболее информативные волновые пакеты (см. табл.).

Таблица

Использование волновых пакетов различной природы для прогноза тектонических нарушений угольных пластов

Наименование метода	Боковая волна сжатия (%)	Боковая волна сдвига (%)	Каналовая волна, образованная волноводом (%)	Каналовая волна, образованная пластом (%)
МОВ	47	69	5	19
МСЛ	43	71	Не исп.	43
МСП	75	75	25	25

При использовании метода сейсмического просвечивания (МСП) информацию о тектонических нарушениях в 75 % случаев несут боковые волны сжатия и боковые волны сдвига. Каналовые волны наблюдаются в случаях, когда угольный пласт имеет значительную мощность.

В случае использования метода отраженных волн (МОВ) в 69 % случаев наиболее информативной волной является боковая волна сдвига. На втором месте по информативности находится боковая волна сжатия (47 %).

В методе сейсмической локации (МСЛ), наиболее информативной волной является боковая волна сдвига (71 %). Следующей по информативности идет боковая волна сжатия (43 %), затем «классическая» каналовая волна. Разница в распределении информативности волновых пакетов при использовании МОВ и МСЛ за десятилетие практически нивелировалась за счет совершенствования метода сейсмической локации.

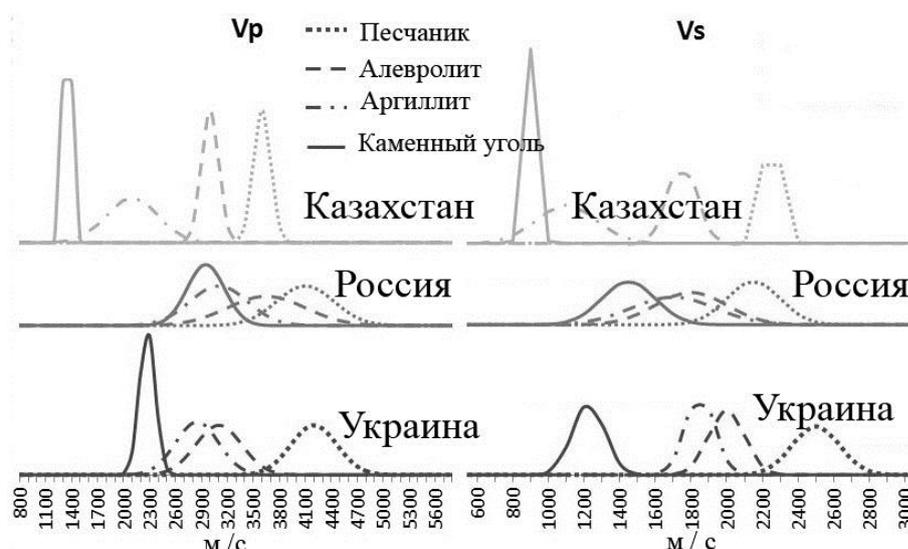


Рис. Картины распределения скоростей продольных и поперечных волн для угольных месторождений Украины, России и Казахстана

Установлено, что наиболее информативный прогноз горно-геологических условий залегания осуществляется:

- волновыми пакетами боковых волн сжатия и сдвига, которые распространяются со скоростями продольных и поперечных волн во вмещающих породах с частотным диапазоном от 50 до 200 Гц и от 80 до 300 Гц, соответственно;

- каналовыми волнами с частотным диапазоном 200–500 Гц и скоростью распространения максимума огибающей, равной скорости фазы Эйри (если угольный пласт имеет мощность свыше 1,5 м).

В случае присутствия аргиллита в кровле или почве пласта, а также в случае сближенных пластов (если таковые располагаются на расстоянии не более 4 м) дополнительную информацию об углепородном массиве несут образованные волноводом сложного строения каналовые волны с частотой 200-400 Гц в диапазоне между скоростями распространения волн сдвига в угле и в аргиллите (или в породном прослое). При этом волновые пакеты каналовых волн обладают следующими свойствами:

- скорость их распространения пропорциональна, а амплитуда и частота её максимума – обратно пропорциональны мощности аргиллита (породного прослоя между пластами);

- максимальные амплитуды волн сжатия наблюдаются по центрам угольных пластов, тогда как амплитуды волн сдвига – в аргиллите (в породном прослое).

Максимальная мощность породного прослоя, при котором для сейсмических полей с характерными для Донбасса частотными характеристиками (диапазон частот 20–500 Гц, максимальные частоты максимумов амплитудного спектра не превышают 300–350 Гц) сближенные пласты можно рассматривать как волновод составляет 3–4 м. В случае, если сближенные пласты располагаются на расстоянии более 4–5 м, влиянием второго пласта на поле, формируемом в исследуемом пласте, можно пренебречь.

Опыт применения сейсморазведки показывает, что наибольшую информацию о геологических нарушениях несут следующие параметры волнового поля:

- скорость максимума модуля амплитуды (ММА) (обеспечивается высокая точность в плане выделения участков, относительная независимость от случайных факторов);

- частота ММА (практически единственный фактор, позволяющий судить не только о наличии нарушения, но и о типе);

- амплитуда ММА (высокая точность в плане выделения участков, зависимость от случайных факторов).

Обобщение результатов применения сейсмического метода дает возможность выбрать априори информативные волновые пакеты и их параметры и использовать их в качестве опорных для анализа и обработки.

В процессе экспериментов производится уточнение информативных параметров и адаптация к реальным условиям.

Правильный выбор параметров обработки и анализа данных сейсмических экспериментов повышает надежность прогноза, что в конечном итоге снижает вероятность случайных встреч геологических нарушений при отработке угольных пластов, приводящих не только к экономическим потерям, но и часто являющимся причиной аварийных ситуаций, приводящим к травматизму рабочего персонала угледобывающих предприятий.

#### Список литературы

1. Глухов А. А. Сейсмические волновые поля, регистрируемые на угольных пластах Донбасса при решении задач шахтной сейсморазведки / А. А. Глухов // Зб. наук. пр. Національного гірничого університету. – 2006. – Т. 1, № 26. – С. 65–74.
2. Анциферов А. В. Теория и практика шахтной сейсморазведки / А. В. Анциферов. – Донецк: ООО «Алан», 2002. – 312 с.

УДК 537.86.029

### ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СЛАБЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

*Худяков И.И.*, канд. физ.-мат. наук, *Терещенко Ф.Н.*, *Подлесный В.Ю.*  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*igorhudakov71@gmail.com*

**Введение.** Особое распространение получили ВОЛС системы. (Волоконно-оптическая система передачи), Волоконно-оптическая линия связи – волоконно-оптическая система, состоящая из пассивных и активных элементов, предназначенная для передачи информации в оптическом (как правило – ближнем инфракрасном) диапазоне. Для контроля параметров данных линий, например, уровня вытекающего излучения, например, при изгибе оптоволокна, необходимо применение высокочувствительных оптических датчиков [1].

Для регистрации слабых оптических излучений можно применить фотоэлектронные умножитель. Наиболее широкое применение ФЭУ нашли в ядерной физике в качестве элемента сцинтилляционного счётчика. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) представляет собой, электровакуумный прибор, в котором поток электронов, эмитируемый фотокатодом под действием оптического излучения, усиливается в множительной системе в результате вторичной электронной эмиссии [2].

**Основная часть.** В ходе дальнейшей работы было принято решения изготовить макет датчика на основе ФЭУ, из имеющихся в наличии, была выбрана ФЭУ-27, ее внешний вид представлен на рис. 1.

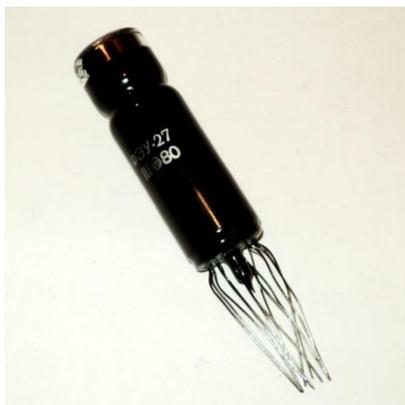


Рис. 1. Внешний вид ФЭУ-27

Данный тип ФЭУ был выбран в виду того что он имеет пик спектральной чувствительности диапазоне 300...800 нм и захватывает весь видимый участок длин волн.

Фото компонентов устройства, установленных на основу, приведено на рис. 2.



Рис. 2. Фото компонентов устройства, установленных на основу

В ходе эксперимента было обнаружено, что чувствительность изготовленного устройства выше чувствительности фотометра, так как выводимой оптической мощности с оптического ответвителя было недостаточно для каких-либо измерений при помощи вышеупомянутого прибора. Для эксперимента использовался лабораторный макет оптического ответвителя, выходной уровень ответвленного сигнала был ниже  $10^{-10}$  Вт, по тому как фотометр был не способен обнаружить и измерять ответвленный сигнал.

Для приблизительной оценки собственных шумов и нижней границы измеряемой оптической мощности изготовленного устройства была измерена амплитуда шумового напряжения на выходе при отсутствующем освещении ФЭУ и максимальном напряжении питания, что соответствует максимальной чувствительности. Амплитуда шумового напряжения составила около 42 мВ. Исходя из номинала резистора обратной связи усилителя (10МОм), темновой ток составил:

$$I = U/R = \frac{10^{-3}}{10^{-6}} = 42 * 10^{-9} \text{A}$$

Данный темновой ток вписывается в указанное в паспорте значение.

Поскольку чувствительность ограничена данным током, приближительную нижнюю границу чувствительности можно определить исходя из указанной в техническом описании чувствительности ФЭУ при питающем напряжении 1.8кВ (30А/лм), нижняя граница чувствительности составит:

$$S_{\text{мин}} = 4.2 * 10^{-9} \text{A} / 30 \text{ А/лм} = 14 * 10^{-11} \text{ лм}$$

Для приближительной оценки чувствительности в ваттах, воспользуемся максимальной световой эффективностью монохроматического излучения для дневного зрения (683 лм/Вт) тогда:

$$P_{\text{мин}} = 14 * 10^{-11} \text{ лм} / 683 \text{ лм/Вт} = 2 * 10^{-13} \text{ Вт}$$

Относительная спектральная чувствительность примененной ФЭУ приведена на рис. 3.

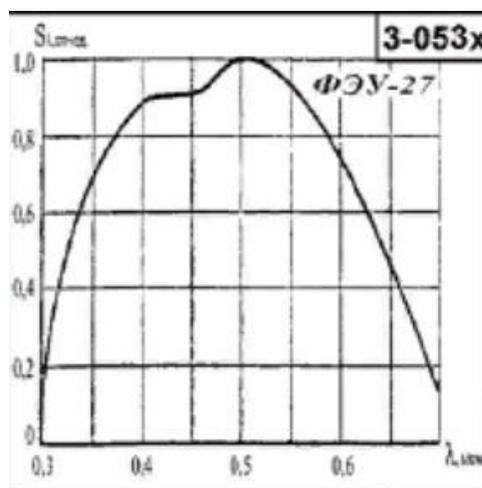


Рис 3. Относительная спектральная чувствительность

**Заключение.** Используемая ФЭУ имеет относительно высокую линейность спектральной чувствительности в диапазоне видимых длин волн, а изготовленный макет обладает высокой чувствительностью в целом, а изготовленный макет позволят обнаруживать малые уровни оптического излучения.

### Список литературы

1. Берковский А. Г. Вакуумные фотоэлектронные приборы / А. Г. Берковский, В. А. Гаванин, И. Н. Зайдель. – 1976. (дата обращения: 28.01.2020).
2. Детектор обнаружителей оптических систем [Электронный ресурс] // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – URL: <http://jurnal.org/articles/2011/mil1.html> (дата обращения: 20.04.2020).

## КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Шелехова О.Г.*, канд. техн. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*jenjaistorik@mail.ru*

**Введение.** Область использования асинхронных двигателей (АД) в промышленности, на транспорте и в быту постоянно растет [1]. В отдельных отраслях промышленности потребление электроэнергии АД достигает 80 % [1]. Одним из энергетических показателей асинхронного двигателя, который отражает оценку основных затрат, связанных с преобразованием электрической энергии в механическую, является коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ) АД [1]. Одной из причин роста затрат на эксплуатацию АД является отклонение напряжения прямой последовательности на зажимах АД от номинального значения [2, 3].

**Актуальность (социальная значимость)** Существующие математические модели [1] для определения коэффициента мощности асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности содержат итерационный цикл (для определения скольжения, соответствующего заданному напряжению) и предполагают использование компьютерной техники, что затрудняет их использование при решении задач связанных с рациональным выбором АД, а также прогнозированием технического состояния АД в условиях нестабильного питающего напряжения и данный вопрос требует дальнейшего исследования.

**Целью** данной работы была разработка безитерационных зависимостей коэффициента мощности АД от напряжения прямой последовательности.

В [4] получена аналитическая зависимость скольжения асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности:

$$s_U \approx \frac{s_n}{U_{np}^{*2}} \quad (1)$$

где  $U_{np}^* = \frac{U_{np}}{U_n}$  – относительное значение напряжения прямой последовательности;  $s_n, s_U$  – скольжение АД в номинальном режиме и при отклонении напряжения прямой последовательности соответственно.

Выражение (1) позволяет получить безитерационные зависимости токов статора, ротора от напряжения прямой последовательности  $U_{np}$  с использованием Т-образной или Г-образной (рис. 1) схем замещения [4].

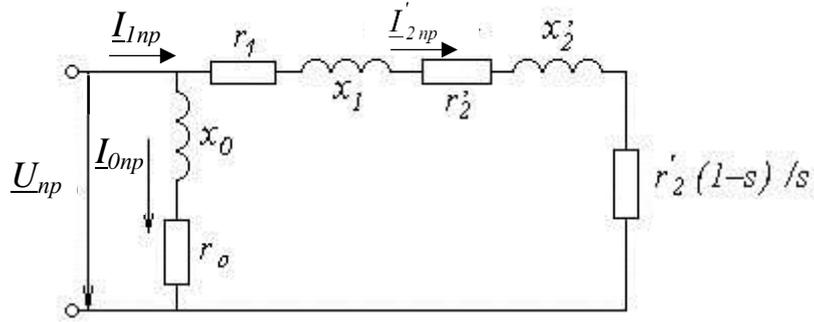


Рис. 1. Г-образная схема замещения АД

В соответствии с Г-образной схемой замещения АД (рис. 1) [4]:

$$I_{0np}^* = \frac{U_{np}^*}{\sqrt{R_o^{*2} + X_o^{*2}}} ; I_{2np}^* = \frac{U_{np}^*}{\sqrt{(X_1^* + X_2'^*)^2 + \left( R_1^* + \frac{R_2'^* \cdot U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2}} , \quad (2)$$

где:  $I_{0np}^*, I_{2np}^*$  – относительные значения токов;  $X_o^*, R_o^*, X_1^*, X_2'^*, R_1^*, R_2'^*$  – относительные значения параметров схемы замещения АД. В качестве базового значения сопротивления принято  $Z_o = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{1H}}$ .

В соответствии со схемой замещения АД, представленной на рис. 1, построена векторная диаграмма (рис. 2).

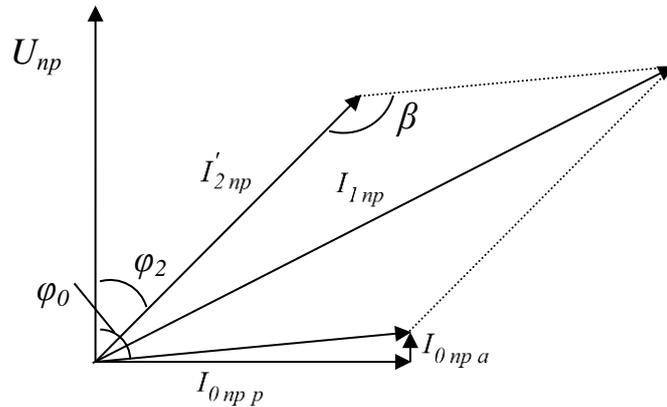


Рис. 2. Векторная диаграмма токов и напряжений АД

Согласно [1]  $\varphi_0 \approx \frac{\pi}{2}$ , тогда согласно векторной диаграмме коэффициент мощности цепи может быть определен:

$$\cos \varphi = \frac{I_2^* \cdot \cos \varphi_2}{\sqrt{(I_o^* + I_2^* \cdot \sin \varphi_2)^2 + (I_2^* \cdot \cos \varphi_2)^2}} \quad (3)$$

Для вычисления

$$\sin \varphi_2 = \sin \left( \arctg \left( \frac{X_1^* + X_2'^*}{R_1^* + \frac{R_2'^* \cdot U_{np}^{*2}}{s_H}} \right) \right) \quad \cos \varphi_2 = \cos \left( \arctg \left( \frac{X_1^* + X_2'^*}{R_1^* + \frac{R_2'^* \cdot U_{np}^{*2}}{s_H}} \right) \right)$$

Воспользуемся известными математическими формулами

$$\sin \varphi_2 = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_2}}, \quad \cos \varphi_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_2}}, \quad \text{тогда:}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_1^* + X_2'^*}{\sqrt{\left( R_1^* + \frac{R_2'^* \cdot U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_1^* + X_2'^*)^2}}, \quad (4)$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_1^* + \frac{R_2'^* \cdot U_{np}^{*2}}{s_H}}{\sqrt{\left( R_1^* + \frac{R_2'^* \cdot U_{np}^{*2}}{s_H} \right)^2 + (X_1^* + X_2'^*)^2}}. \quad (5)$$

Таким образом, выражение (3) представляет собой безитерационную зависимость коэффициента мощности в функции напряжения прямой последовательности при различных параметрах Г-образной схемы замещения и может быть использованы для рационального выбора АД, а также в системах прогнозирования технического состояния АД в условиях нестабильного питающего напряжения.

**В заключении.** Исследования, представленные в статье, позволяют оценить влияние напряжения прямой последовательности на коэффициент мощности АД различного типоразмера.

### Список литературы

1. Проектирование электрических машин / под. ред. И. П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с.
2. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
3. Немов Г. Ю. Энергетические показатели асинхронного двигателя при несимметрии питающего напряжения / Г. Ю. Немов, А. И. Маковский, О. Г. Шелехова // Электронный архив Донецкого национального технического университета (г. Донецк) / Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых: сборник научных трудов XVI международной научно-технической конференции аспирантов и студентов 25–26 мая 2016 г., г. Донецк. – Донецк: ДонНТУ, 2016. – С. 184–186.
4. Шелехова О. Г. Определение зависимости тока статора асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности при различных параметрах его схемы замещения / О. Г. Шелехова // Сборник трудов СПб ГУАП. – 2016. – С. 284-291.

## УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВ

*Яновский А.В., Рушечников Я.И., Карпушин С.А.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*aspirant9449@gmail.com*

**Введение.** Речевая информация является одним из основных источников получения, данных о личной жизни человека или финансовой, научно-исследовательской, производственной деятельности организации, то есть сведений, не подлежащих широкой огласке [1].

Защита речевой (акустической) информации является одной из важнейших задач в общем комплексе мероприятий по обеспечению информационной безопасности объекта технической защиты информации. Это связано с тем, что в процессе переговоров, обсуждения служебных вопросов может звучать конфиденциальная информация. Органы технической разведки различных организаций, конкурирующих фирм и т.п. могут использовать для перехвата этой информации широкий арсенал портативных средств акустической речевой разведки, позволяющих перехватывать речевую информацию по акустическим каналам.

В качестве датчиков средств разведки используются высокочувствительные микрофоны, преобразующие акустический сигнал в электрический [2].

**Основная часть.** Одним из наиболее перспективных видов подавления акустического канала связи является применение ультразвука, не слышимого человеческим ухом, но воспринимаемого микрофонной системой закладки. Достоинствами данного метода являются:

- Изделие работает бесшумно и может одновременно блокировать несколько микрофонов.

- Блокирование микрофона не зависит от канала передачи снятой информации.

- Наименьшая заметность действия устройства относительно всех иных акустических методов подавления устройств съёма информации по акустическому каналу [3].

Предложенное устройство состоит из трёх аналогичных каналов, но частоты модуляторов и ультразвуковых генераторов в каждом канале немного отличаются. Ультразвуковые генераторы имеют частоты 24,7–25–25,3 кГц. В микрофоне подавляемого устройства эти модулированные частоты смешиваются и дают на выходе микрофона заградительный сигнал.

Применяется устройство следующим образом. Около излучателей устройства располагают мобильные телефоны (смартфоны) на расстоянии не более 10 см. В зависимости от модели телефона это расстояние может быть иным, для этого необходимо провести испытание. Телефон переводят

в режим диктофона, озвучивают помещение и делают пробную запись при включенном подавителе сначала при минимуме мощности, затем при полной мощности. Если телефоны не проверены на подавление, то их располагают рядом с подавителем 5–7 см. Акустическое давление на расстоянии – 1 м при полной мощности не более 90 дБ, что значительно ниже санитарных норм на рабочих местах на частоте 25 кГц (105 дБ).

Принцип действия данного прибора основан на интермодуляционных искажениях, так как на микрофон поступает несколько сигналов, частоты которых заведомо выше слуховых, то в результате их взаимодействия с нелинейностью, как самого микрофона, так и усилительного тракта после него (в частности полевого транзистора электретного микрофона) происходит формирование множества побочных частот на спектре принятого сигнала, по мимо самих подавляющих. Эти интермодуляционные искажения на спектре находятся как выше, так и ниже относительно возбуждающего сигнала

В случае фиксированных частот интермодуляционные искажения будут носить статический характер. Противодействовать такому подавлению не составит труда. Для решения этой проблемы используется частотная модуляция УЗ излучения, отдельно для каждого канала. В вышеприведенной схеме это реализовано при помощи низкочастотного генератора, собственного для каждого канала. В результате отсутствия синхронизации этих генераторов происходит изменение частот возбуждаемых сигналов, а как следствие размытие интермодуляционных искажений в слышимом участке спектра. Для усложнения процесса обработки необходимо применять случайные сигналы для управления излучателем. Источником такого сигнала, к примеру, может послужить шум полупроводникового элемента. Для настройки каналов по центральным частотам, регуляторы ширины зашумления были установлены в минимальное положение, а регуляторы уровня помех каналов – в среднее. Спектр приведён на рис. 1.

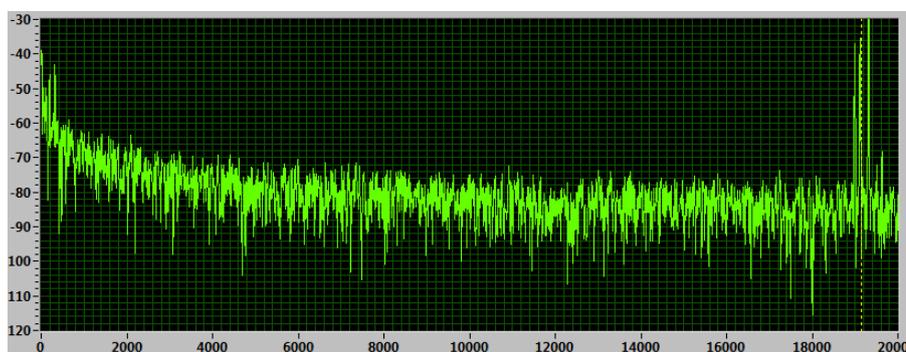


Рис. 1. Спектр с ложными частотами

Далее, при помощи регуляторов ширины полосы, были подобраны положения с наиболее равномерным зашумлением, пример правильной настройки приведён на рис. 2.

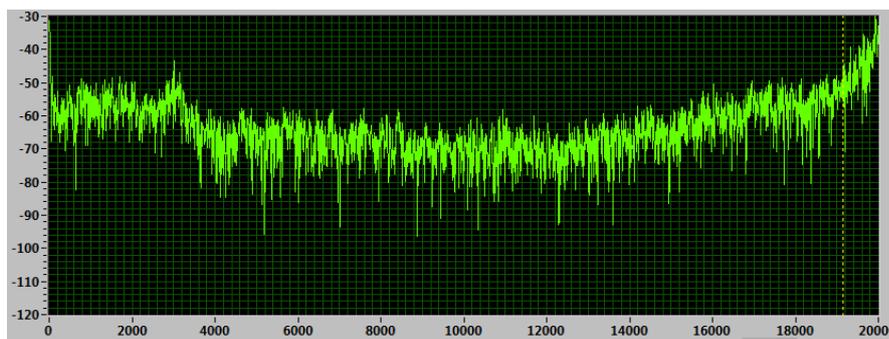


Рис. 2. Пример правильной настройки генератора

При этом осциллограмма сигнала с микрофона имела вид, представленный на рис. 3.

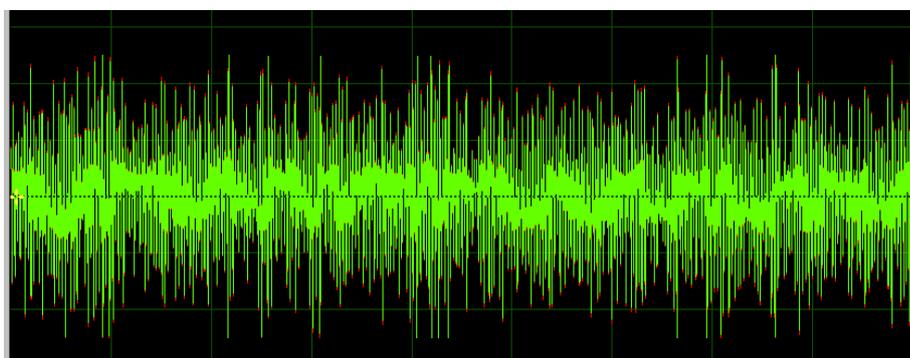


Рис. 3. Осциллограмма сигнала с микрофона

**Заключение.** Как видно из представленных результатов измерений, устройство формирует шумовую помеху, позволяющую сильно осложнить обработку звукового сигнала, но при этом устройство не гарантирует высокого уровня помехи, так как ультразвуковое излучение может ослабляться, например, верхней одеждой или же противопыльными фильтрами. Также различные типы микрофонов имеют различную чувствительность к ультразвуковому излучению. В виду данных обстоятельств не рекомендуется применить лишь один тип устройства противодействия утечкам информации, а комбинировать различные методы для повышения эффективности.

### Список литературы

1. Теоретические основы защиты информации от утечки по акустическим каналам: учеб. пособие / Ю. А. Гатчин, А. П. Карпик, К. О. Ткачев, К. Н. Чиков, В. Б. Шлишевский. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 194 с.
2. Халяпин Д. Б. Защита информации. Вас подслушивают? Защищайтесь! / Д. Б. Халяпин. – М.: НОУ ШО «Баярд», 2004. – 432 с.
3. Ярочкин В. И. Информационная безопасность: Учебник для студентов вузов / В. И. Ярочкин. – М.: Гаудеамус (Gaudeamus), 2-е изд., 2004. – 544 с.

## ГЕНЕРАТОР ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ПОМЕХИ

**Яновский А.В., Джанджгава К.Г., Худяков И.И.**, канд. физ.-мат. наук  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*aspirant9449@gmail.com*

**Введение.** В настоящее время известно, что в сфере получения речевой информации злоумышленники и конкурирующие фирмы пользуются дистанционными средствами акустической разведки. Одними из современных и эффективных считаются лазерные системы акустической разведки (ЛСАР). Они способны распознавать и воспроизводить речь и акустические шумы различного рода при лазерно-локационном зондировании оконных стекол и других отражающих поверхностей [1]. Исходя из этого, рассмотрим один из достаточно простых, но очень эффективных способов защиты от лазерных устройств. Он заключается в том, чтобы с помощью специальных устройств сделать амплитуду вибрации стекла много большей, чем вызванную голосом человека. При этом на приемной стороне возникают трудности в детектировании речевого сигнала [2].

**Основная часть.** Для предотвращения утечки информации описанным ранее методом предполагается применить виброакустический генератор помех. Принцип работы систем виброакустического зашумления крайне прост – скрытие акустических сигналов в защищаемом помещении путем увеличения энергии помех, тем самым снижая уровень разборчивости речи до необходимых значений. Система состоит из генератора шума и акустоизлучателей (их размещают между двойными рамами окон, в дверных тамбурах, над навесными потолками, в воздуховодах). При испытаниях, генератор вибропомехи и стетоскоп были закреплены на оконном стекле. Стетоскоп был подключен к компьютеру, измерения проводились при помощи программы Soundcard Score. Фото в процессе измерений приведено на рис. 1.

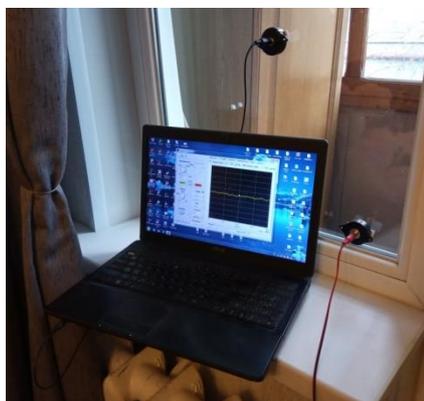


Рис. 1. Проведение измерений

На рис. 2 приведена осциллограмма напряжения со стетоскопа при довольно громком разговоре на расстоянии около 2м от стекла.

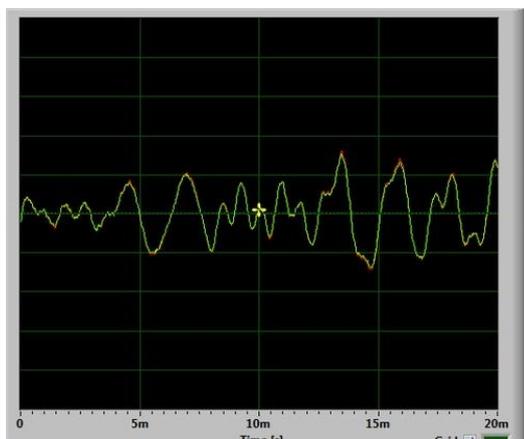


Рис. 2. Осциллограмма напряжения со стетоскопа

Далее был включён генератор помехи и были произведены замеры осциллограмм напряжения со стетоскопа при различных положениях регулятора мощности. Осциллограммы представлены на рис. 3-5.

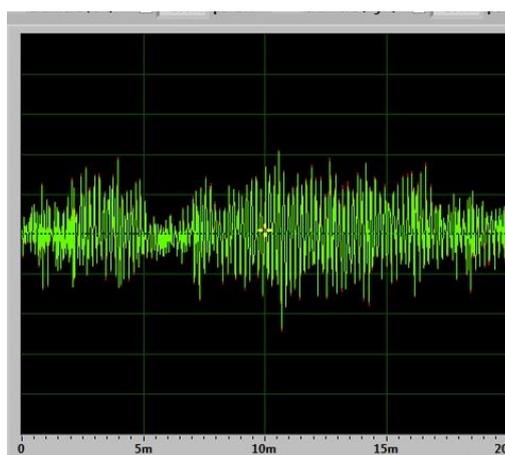


Рис. 3. Осциллограмма напряжения со стетоскопа при 25 % мощности

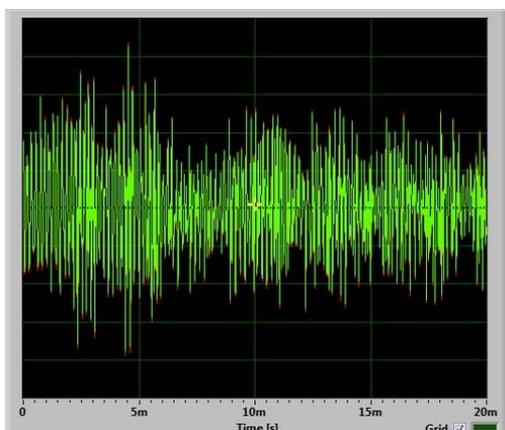


Рис. 4. Осциллограмма напряжения со стетоскопа при 50 % мощности

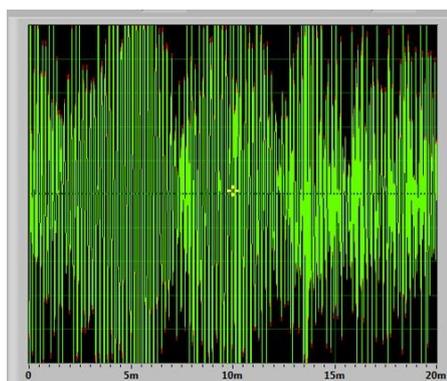


Рис. 5. Оциллограмма напряжения со стетоскопа при 100 % мощности

Как видно из представленных оциллограмм амплитуда шумового сигнала значительно превышает амплитуду полезного сигнала, при этом при работе устройства слышен звука шума, но его уровень весьма незначительный, и нет ощутимого влияния на ход беседы.

Спектр шумового сигнала, полученный при помощи программы Soundcard Scope, приведён на рис. 6.

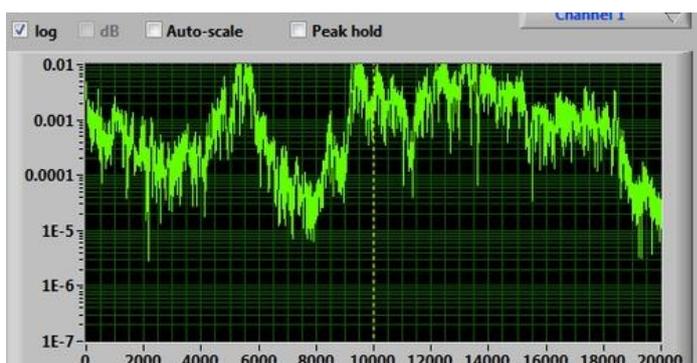


Рис. 6. Спектр шумового сигнала

**Заключение.** Полученный спектр имеет неравномерное распределение, данное явление можно объяснить наличием резонансных характеристик, как самого излучателя, так и оконного стекла. Проверка показала работоспособность устройства с некоторыми недостатками, для решения которых возможно применение вибродинамиков и корректоров АЧХ для получения равномерного зашумления.

### Список литературы

1. Акустика: справочник / А. П. Ефимов, А. В. Никонов, М. А. Сапожков, В. И. Шоров; под ред. М. А. Сапожкова. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.
2. Бузов, Г. А. Защита от утечки информации по техническим каналам: учеб. пособие / Г. А. Бузов, С. В. Калинин, А. В. Кондратьев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 416 с.

# *Компьютерные технологии*

УДК 530.12, 530.16, 515.14, 537.8

## **ПОСТРОЕНИЕ ШКАЛ СИСТЕМНОГО ВРЕМЕНИ В ТЕМПОРОЛОГИИ**

*Аверин Г.В.*, д-р техн. наук, проф.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*g.averin@donnu.ru*

**Введение.** Актуальная проблема современной науки связана с исследованиями природы времени. Сегодня время в большинстве разделов физики представляется шкалой в смысле абсолютного времени Ньютона. В этом случае можно говорить об использовании шкалы для измерения времени, которая не имеет опорных точек, является непрерывной и равномерной, а начало отсчета задается по соглашению в каждом конкретном случае. Измерения эмпирического времени  $\tau$  в данной шкале связаны с применением процесса периодического излучения атома изотопа цезия 133. Международная атомная шкала является эталонной шкалой измерения эмпирического времени в практической деятельности человека.

В темпорологии получают распространение реляционные модели времени, которые основываются на использовании темпоральных массивов информации и анализе системы отношений между объектами и событиями [1–3]. В этом плане время  $\tau$  рассматривается как одна из эмпирических величин, позволяющая оценить свойства особого, собственного времени для определенного класса объектов.

В данной работе при обобщении представлений о времени, основанных на изменении свойств объектов различной природы, применяется понятие системного времени  $\theta$  – комплексной характеристики, отражающей состояние объекта (системы) в целом и использующей для оценки внутренний процесс изменения его состояния. Системное время непосредственно связано с хроногенезом процессов, протекающих в конкретных объектах или системах, и является относительной величиной, определяющей в динамике меру отклонения состояний объекта от опорных состояний для конкретного класса объектов (систем). Таким образом, эмпирическое и системное время являются различными мерами для оценки изменений состояний объектов.

Целью исследований является разработка способов измерений и установление закономерностей системного времени для различных классов объектов на основе обработки и анализа темпоральных данных.

**Основная часть.** Создание шкал системного времени является основополагающим вопросом теории темпорологии. Такие шкалы могут

быть построены путем использования в качестве темпометрического свойства эмпирического времени или статистической вероятности событий. В первом случае для построения шкалы необходимо увязать эмпирическое время  $\tau$  с системным временем  $\theta$ , которое зависит только от значений параметров свойств. Для этого шкала  $\theta$  строится с учетом соответствия этой величины, с одной стороны, параметрам свойств объекта (переменным состояниям), а с другой стороны, времени  $\tau$ .

Шкала системного времени реализуется следующим образом. Для определенного класса объектов формируется темпоральный массив данных. Среди всех объектов выбирается опорный объект. Для четко заданного периода эмпирического времени  $\Delta\tau$  рассматривается реальный процесс развития этого объекта от начального состояния  $M_0$  (точка 1) до конечного состояния  $M'_0$  (точка 2). Данные состояния являются реперными точками для построения линейной шкалы времени  $\theta$ . Весь интервал  $\Delta\tau$  разбивается на некоторое количество равных интервалов, при этом эмпирическое время  $\tau$ , рассматривается как темпометрическое свойство, характеризующее хроногенез процесса изменения свойств. Если состояние  $M_0$  принять за ноль единиц системного времени, а состояние  $M'_0$  – за 100 единиц, то уравнение шкалы будет иметь вид линейного уравнения:  $\theta(\tau) = 100(\tau - \tau_1) / (\tau_2 - \tau_1)$ . Далее каждой точке шкалы ставятся в соответствие наблюдаемые значения параметров свойств опорного объекта и устанавливается уравнение шкалы с помощью регрессионного анализа или построения уравнения прямой в многомерном пространстве. После этого состояния всех объектов можно измерить в шкале системного времени, исходя из наблюдаемых значений параметров.

Для примера рассмотрим процессы развития регионов России, используя при анализе базы темпоральных данных. Для исследований была сформирована статистическая база данных социально-экономических показателей субъектов РФ. Она включала информацию по каждому из 80 регионов для 48 показателей за 14 лет (с 2005 по 2018 гг.). Выберем в качестве переменных состояния семь удельных показателей развития сектора реальной экономики: объем товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами (добыча полезных ископаемых  $z_1$ ; обрабатывающие производства  $z_2$ ; производство и распределение энергии, газа и воды  $z_3$ ); продукция сельского хозяйства  $z_4$ ; объем работ в строительстве  $z_5$ ; объем платных услуг населению  $z_6$ ; оборот розничной торговли  $z_7$ . Размерность всех перечисленных величин – млн. руб./тыс. чел. (тыс. руб./чел.).

В качестве первого реперного состояния шкалы ( $M_0$ ) примем состояние Белгородской области в 2005 году, в качестве второго реперного состояния ( $M'_0$ ) – ее состояние в 2015 году. Условно принято, что

системное время  $\theta$  измеряется в градусах этой величины. Под градусом понимаем относительную единицу измерения в шкале системного времени. Шкала формировалась путем установления линейной зависимости между величиной  $\theta$  и удельными показателями развития  $z_1 \div z_7$ . Значения  $\theta$  на интервале времени 2005–2018 гг. зависели линейно от времени: 2005 г. –  $0^\circ\Gamma$ , 2006 г. –  $10^\circ\Gamma$  и т.д. до 2018 г. –  $130^\circ\Gamma$ . Таким образом, каждому году соответствовало  $10^\circ\Gamma$ .

Уравнение шкалы для всех семи переменных состояния имеет вид:

$$\theta = -27,754 + 0,101 z_1 + 0,128 z_2 + 0,490 z_3 - \dots \\ \dots - 0,254 z_4 - 0,0219 z_5 + 0,417 z_6 + 0,470 z_7. \quad (1)$$

Максимальная погрешность шкалы не превышает  $0,57^\circ\Gamma$ , средняя  $0,38^\circ\Gamma$ , относительная – 1,1%. Реперные точки для 2008 и 2009 годов были исключены. Величину, получаемую путем прибавления константы  $a_0 = 27,754$  к значению  $\theta$ , назовем абсолютным системным временем и обозначим буквой  $\Theta$  ( $\Theta = \theta + 27,754$ ). При  $\theta_0 = -27,754$  получаем, что абсолютное системное время  $\Theta = 0$ , это состояние определим как абсолютный ноль, ему соответствуют значения всех переменных  $z_k = 0$ . Использование величины  $\Theta$  определено ее положительными значениями в отличие от величины  $\theta$ . Шкала  $\Theta$  является шкалой отношений.

Весь спектр процессов развития 80 регионов России в 2005 – 2018 годах отражается в 1120 состояниях. Установим взаимосвязь между временем  $\Theta$  и функцией относительных изменений  $t = z_1 z_2 z_3 / (z_{10} z_{20} z_{30})$ , где  $z_{k0}$  – значения переменных опорного объекта в 2003 году. Обработка данных позволила получить уравнение состояния регионов России вида:

$$\ln t = -25,550 + 6,434 \ln \Theta. \quad (2)$$

Коэффициент корреляции зависимости (2) составил 0,91.

Таким образом, получено уравнение состояния, характеризующее развитие регионов России и связывающее абсолютное системное время с переменными состояниями. При этом эмпирическое время  $\tau$  выступает темпометрическим свойством шкалы системного времени.

**Заключение.** Из приведенных результатов видны возможности, которые позволят сформировать обширную экспериментальную базу темпорологии по отношению к системам различной природы, т.к. основная проблема экспериментальной темпорологии – это получение, накопление, обработка и анализ опытных данных и фактов о времени.

### Список литературы

1. Институт исследования природы времени. – Электр. ресурс: <http://www.chronos.msu.ru/ru/rindex> (25.10.2021).
2. The International Society for the Study of Time. – Электр. ресурс: <http://www.studyoftime.org> (25.10.2021).
3. Владимиров Ю. С. Природа пространства и времени: Антология идей / Ю. С. Владимиров. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 400 с.

## КРИТЕРИИ СЛОЖНОСТИ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИНДИКАТИВНЫХ СОБЫТИЙ

*Аверин Г.В.*, д-р техн. наук, проф.,

*Звягинцева А.В.*, д-р техн. наук, доц.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*g.averin@donnu.ru, a.zvyagintseva@donnu.ru*

**Введение.** Общая теория систем как междисциплинарная наука должна открывать перспективы получения новых законов в конкретных областях знаний. Познание системы любой природы как целого непосредственно связано с представлениями о простоте и сложности объектов исследования [1]. В связи с тем, что все науки в своем содержании опираются на анализ и обобщение эмпирических данных, возникает проблемный вопрос: каким образом на основе имеющихся данных наблюдений можно оценить сложность той или иной системы?

Представления о сложности класса объектов выполняют особую роль. Сегодня все понятия простоты/сложности сформулированы на качественном уровне и слабо связаны с эмпирическими данными. Путь к представлениям о простоте и сложности целого проходит через поиски объединяющих понятий. Количественные критерии позволяют придать конкретный смысл объективному изучению сложных систем в контексте системного подхода в познании законов природы и общества.

**Основная часть.** Поиску таких критериев в системном анализе, общей теории систем и кибернетике посвящены работы многих авторов, обзор которых дан в энциклопедическом труде [2]. Из полученных ранее результатов [3–5] видна реальная возможность сравнения между собой различных классов объектов, исходя из их сложности. В этом плане имеем крайне актуальную общесистемную научную задачу, которую можно решить путем использования количественных критериев. Такие критерии должны позволять оценить сложность систем на основе сравнения статистических вероятностей, характеризующих состояния реальных и аналогичных им модельных хаотически организованных систем.

Илья Пригожин отмечал, что законы физики должны учитывать возможность. Следует отметить, что в науке при построении моделей возможность учитывается, однако понимается она в узком смысле слова – как равновозможность. Реальные объекты отличаются наличием неравновозможных состояний, поэтому оценка сложности объектов может быть осуществлена на основе представления состояний объектов, с одной стороны, как совокупности значений основных параметров объекта в некоторый момент времени, а, с другой стороны, как совместное событие наблюдения значений этих же параметров (переменных состояния) в

соответствующий момент времени. Также сложность объектов может быть оценена по отношению ко всему классу изучаемых объектов путем сравнения их характеристик с аналогичными характеристиками некоторого класса объектов, принятого за эталонный. Если данное совместное событие рассматривать как основное индикативное событие, то можно сформулировать способы обработки и анализа многомерной и разноплановой информации путем непосредственного алгоритмического подсчета апостериорных вероятностей этих индикативных событий по опытным данным. На основе определения вероятностных распределений для изучаемого класса объектов и аналогичного, принятого за эталонный, можно определить статистические закономерности, характерные для этих классов. В этом случае в качестве критериев сложности могут использоваться меры сходства классов.

Поэтому, чтобы систематизировать существующие классы объектов по факту наблюдаемых статистических закономерностей, необходимо выделить некий простой класс как основу для всех относительных сравнений, своего рода опорный или эталонный класс объектов. Для этого будем использовать понятие хаотических систем. Предположим, что хаотическими являются однородные системы (классы объектов), в которых при любых процессах изменения свойств формируются независимые и равновозможные состояния. Хаотические системы будут отличаться равномерными распределениями индикативных событий и обладать самыми простыми статистическими закономерностями. Распределения вероятностей состояний для таких систем будут определяться размерностью пространства состояний и диапазонами изменения значений переменных состояния и могут быть заданы в каждом конкретном случае с использованием имитационных моделей.

Будем применять такие системы как эталоны при сравнении между собой различных классов объектов по факту их сложности. Возьмем две однородные группы объектов, одинаковые по числу экземпляров и изучаемых свойств. Первая группа формируется из экземпляров изучаемого класса реальных объектов, вторая – из аналогичных модельных объектов, имеющих равновероятные состояния. В последнем случае в пространствах состояний сформируем независимые и равновозможные состояния, свойственные модельной группе объектов. С этой целью используются генераторы случайных чисел с равномерным распределением.

Вероятности состояний систем определяем алгоритмически на основе непосредственной оценки статистических вероятностей совместных событий наблюдения значений переменных состояния [4, 5].

На рис. 1 приведено сравнение состояний некоторых классов объектов с хаотически организованными состояниями аналогичных модельных объектов. В первом случае дано распределение вероятностей простых событий наблюдения значений курсов валют стран мира (рис.

1, а). Во втором – приведены распределения вероятностей совместных событий наблюдения букв в словах из четырех букв (рис. 1, б).

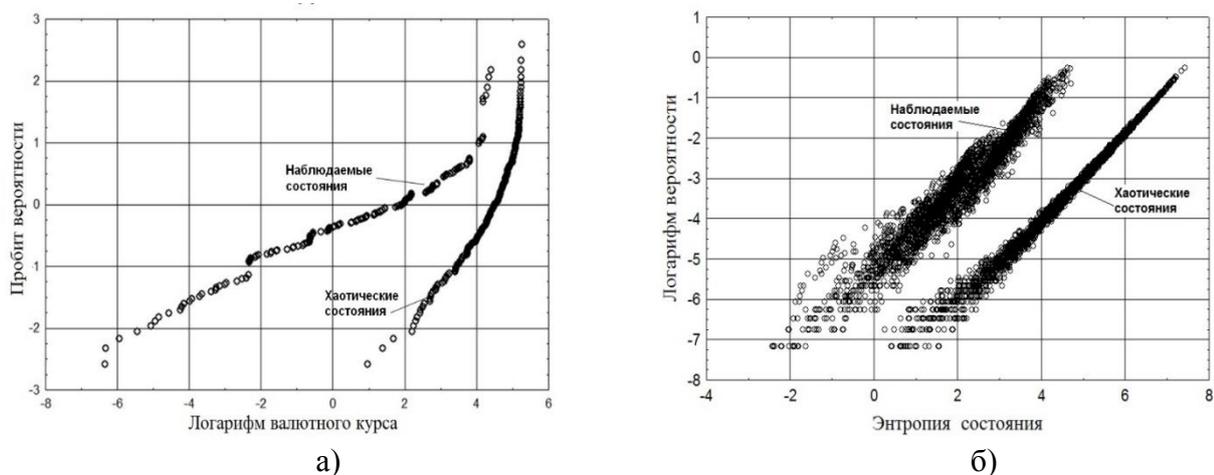


Рис. 1. Примеры оценки различных классов объектов по уровню сложности:  
 а) распределение вероятностей событий наблюдения значений курсов валют стран в 2015 году;  
 б) распределение вероятностей совместных событий наблюдения букв в словах со смыслом и без смысла (слова из четырех букв)

Во всех рассматриваемых случаях в качестве эмпирической меры использована статистическая вероятность состояния в заданном объеме пространства состояний. Из приведенных рисунков видны явно выраженные вероятностные закономерности, которые отличаются для реальных и аналогичных им простейших хаотических систем.

**Заключение.** Полученные результаты указывают на возможность построения критериев и измерительных шкал, позволяющих оценить сложность того или иного класса объектов по отношению к аналогичному классу хаотически организованных объектов, принятых в качестве эталонов.

### Список литературы

1. Мамчур Е. А. Принцип простоты и меры сложности / Е. А. Мамчур, Н. Ф. Овчинников, А. И. Уемов. – М.: Наука, 1989. – 304 с.
2. Encyclopedia of complexity and systems science / R. A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
3. Аверин Г. В. Естественнонаучные методы в философии: о принципах математического моделирования в диалектике / Г. В. Аверин // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – № 1(14)–2(15). – 2018. – С. 11–44.
4. Звягинцева А. В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / А. В. Звягинцева: под ред. Г. В. Аверина. – М.: Спектр, 2016. – 257 с.
5. Аверин Г. В. Системодинамика / Г. В. Аверин. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА МИРОВОГО РЫНКА ФРИЛАНСА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

*Алябьев Б.В., Шарий Т.В.*, канд. техн. наук  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*mzoff@mail.ru*

**Введение.** Сегодня во всем мире наблюдается значительный рост фриланса, что обусловлено рядом транспортных и социальных проблем, а также активной компьютеризацией населения. Кроме того, на рост фриланса сильно повлияло обострение эпидемиологической ситуации, вызванной COVID-19. В связи с этим, многие компании предпочитают организовывать свою работу удаленно, а количество людей, работающих на фриланс-биржах, быстро растет. В этой ситуации анализ данных рынка фриланса в режиме реального времени имеет важное научное и практическое значение.

**Целью работы** является проектирование и разработка программного комплекса реального времени, в задачи которого входит предиктивное моделирование рынка и выявление скрытых закономерностей в современном фрилансе. Т.к. данная сфера молода и обладает спецификой, предметная область требует продуманной инфраструктуры с применением различных методов анализа данных (Data Mining) [1, 2].

**Основная часть.** Разрабатываемый комплекс включает в себя следующие модули (рис.): модуль сбора данных, интеллектуальный модуль, планировщик системы, серверная часть и графический интерфейс. Модуль сбора данных интегрирует механизмы, позволяющие собирать данные из различных источников – баз данных, облачных сервисов, web-ресурсов (таких как upwork.com, freelance.habr.com и т.д.) – с заданной периодичностью. Комплекс предназначен для анализа большого числа параметров, связанных с проектами. Также предусматривается модуль классификации текста заказов, модуль отсеивания одинаковых работ из разных источников с помощью методов обработки естественного текста. Центральную роль в комплексе играет интеллектуальный модуль, в котором производятся основные манипуляции с данными: анализ, прогнозирование и объяснение данных рынка фриланса. К основным задачам модуля также относится классификация фриланс-работ и предсказание дальнейшего развития фриланс-бирж, региональной принадлежности работ, выявление проблем и нехватки специалистов в определенных областях.

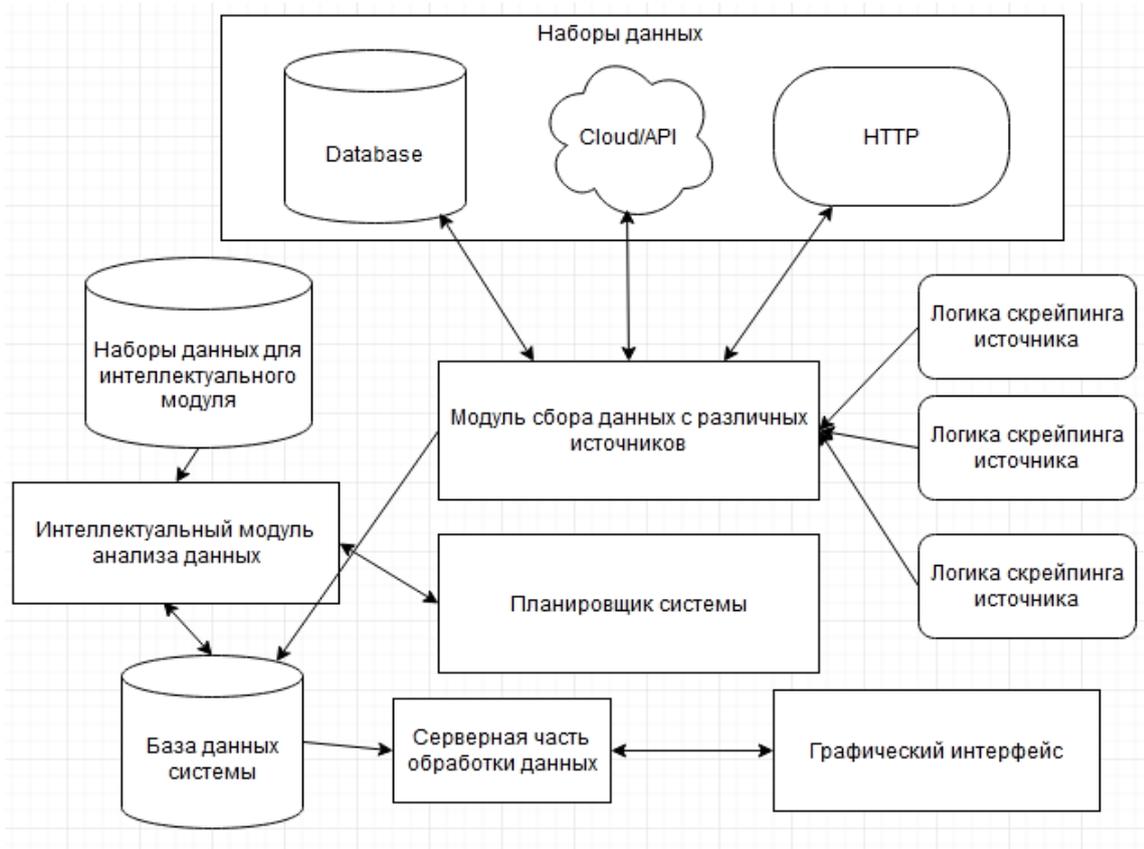


Рис. Структура информационной системы анализа рынка фриланса

В ходе работы был реализован модуль сбора данных из различных источников. В нем были запрограммированы функции сбора данных из различных источников, а также возможность скрейпинга веб-ресурсов (FreelancerRu, Habr, Kadrof, Weblancer и др.) с различными видами авторизации: API-Key, OAuth2, Basic Auth. Для достижения гибкости и скорости добавления новых источников, применен паттерн «Стратегия». Основной технологией для поиска информации на веб-ресурсах является XPath. Для удобства работы с данными применен паттерн «Репозиторий» и выбрано NoSQL решение MongoDB. На текущем этапе исследований ведется работа над модулем анализа данных и продолжается наполнение системы статистическими данными для обучения и валидации.

### Список литературы

1. Алябьев Б. В. Информационная система интеллектуального анализа мирового рынка фриланса / Б. В. Алябьев, Т. В. Шарий // Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Материалы III Международной научной конференции 25 октября 2018 года, г. Донецк. – Том 1. Физико-математические и технические науки. – С. 197-198.
2. Шитиков В. К., Мастицкий С. Э. Классификация, регрессия, алгоритмы Data Mining с использованием R (2017) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/ranalytics/data-mining>.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ВНЕАУДИТОРНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Анастас К.В.*

ГОУ «Бендерский медицинский колледж», г. Бендеры, ПМР

*ksjui@mail.ru*

Интерес к учебной дисциплине у студентов в значительной мере зависит от эрудиции, увлеченности, педагогического опыта наставника и формируется под его непосредственным влиянием. Применение имеющегося в распоряжении педагога арсенала форм, средств и методов обучения позволяет создать каждому свою индивидуальную систему работы.

По мнению психологов Е. Л. Бережковской, А. В. Козлининой, наиболее оптимальный процесс обучения стоит выстраивать следующим образом: когда обучающийся овладевает чем-либо, он проходит три основных этапа этого процесса: I этап – «погружение»; II этап – собственно «овладение» и III этап – «использование» [2].

Ю. К. Бабанский, Л. В. Жарова, А. В. Усова рассматривают внеаудиторную самостоятельную работу (далее ВСР) как метод обучения; Б. П. Есипов, Т. И. Шамова как форму организации учебных занятий; А. В. Петровский как средства приобретения знаний и вида учебной работы; Д. Шунк, Б. Зиммерман как самонаправляемый процесс преобразования умственных способностей в учебные умения и навыки; М. Мартинез-Понс, Ф. Вайнерт, М. Боекаертс как элемент модели процесса приобретения знаний [1].

Анализируя все высказанные мнения исследователей, можно сделать вывод в необходимости построения модели организации ВРС, соответствующей требованиям подготовки современного востребованного высококвалифицированного специалиста.

Существенное влияние на организацию ВРС оказывают два фактора:

1) активная позиция преподавателя, содержащая в себе высокий уровень педагогического интеллекта и его критичность; внедрение проблемного обучения и умения вести диалог со студентом; способность к самооценке своей преподавательской деятельности и доброжелательной оценке знаний учащихся. Основной задачей преподавателя является прежде всего создание дидактических и психологических условий для возникновения и развития у студентов потребности в самообразовании, стремления к активности и самостоятельности в этом процессе. Для реализации данной задачи необходимо создать обучающую среду, определить структуру и логику интеллектуальных отношений и общения, предлагать гибкие и варианты программы при единой линии научного

познания, практические задания на сравнение и рефлекссию, опытно-экспериментальную работу, сопоставлять разные точки зрения на одно и то же явление и т.д.;

2) максимальный эффект от ВРС можно получить только тогда, когда она организуется и реализуется в учебно-воспитательном процессе в качестве целостной системы, охватывающей все этапы обучения дисциплине студентов [4].

Рассмотренные два фактора послужили основой предлагаемой модели организации ВРС по дисциплине Информационные технологии в профессиональной деятельности для студентов Бендерского медицинского колледжа, позволяющей активизировать когнитивную деятельность обучающихся, порождающую дополнительную мотивацию обучения и дающую возможность индивидуализировать систему образования.

Внеаудиторная самостоятельная работа начинается с самостоятельного изучения тех тем дисциплины, которые не рассматриваются на лекциях в аудиториях, но обязательны для изучения. Для этого организуется проектно-исследовательская деятельность, в основе которой лежит развитие познавательных навыков обучающихся и их творческого мышления, умений самостоятельно конструировать свои знания, умение сформулировать, решить проблему и ориентироваться в информационном пространстве. Проектно-исследовательская деятельность начинается с выбора темы проекта и заканчивается представлением результатов исследования в виде докладов, презентаций, вебсайтов и т.п. Темы проектов студенты выбирают из предложенного списка. Перед выполнением проекта преподаватель предоставляет подробные методические рекомендации, устанавливает сроки выполнения, определяет основные требования к результатам. Данный вид деятельности повышает уровень заинтересованности и качество усвоения материала. В предлагаемых заданиях потенциально заложены межпредметные связи.

Для более наглядного представления учебного материала студентам предлагается учебное пособие по дисциплине Информационные технологии в профессиональной деятельности, разработанное на сервисе Genially в форме интерактивного слайда. Для более удобной навигации на слайд встроены интерактивные кнопки. При нажатии студентами на определенную кнопку открывается либо лекционный материал, либо обучающие видеоролики, либо справочная информация, либо задания для практических занятий, или тестирование в программе Testmoz, помогающее студентам и преподавателю оценить уровень знаний в определенной тематике.

Учебное пособие не навязывает жесткой структуры и методики изучения учебного материала. Обучающийся может выбрать путь и темп освоения новой информации в зависимости от имеющегося уровня знаний, сложившихся приемов работы и психологических особенностей личности.

Предлагаемое учебное пособие рассчитано на разные уровни подготовленности студентов. Каждый раздел состоит из трех частей.

1. Теоретическая часть представляет собой лекционный материал, рассматривающий самые главные понятия данного раздела, в который включены гиперссылки. С помощью гиперссылок студенты могут обратиться к справочному материалу для повторения ранее пройденных или неизвестных понятий.

2. Практическая часть, в которой размещены индивидуальные задания практических работ, интегрирующих информационные технологии с междисциплинарными курсами профессиональных циклов. Это позволяет ликвидировать формализм в обучении, оторванность материала по дисциплине от практики, будущей профессии.

3. В заключительной части представлены задания и рекомендации по выполнению и оформлению внеаудиторной самостоятельной работы, а также задания и вопросы, ориентированные на подготовку студентов к получению зачета.

Главные преимущества электронной формы представления учебной информации для самостоятельной работы студентов – компактность, большие выразительные возможности в представлении учебного материала, интерактивность, кроме того это не требует финансовых затрат [3].

Таким образом, введение проектно-исследовательской методики при организации внеаудиторной самостоятельной работы студентов при изучении информационных технологий в ПД в Бендерском медицинском колледже, а также использование современных компьютерных технологий показало, что обучаемые экспериментальных групп проявили повышенный интерес к занятиям и показали более высокий уровень усвоения материала.

### **Список литературы**

1. Вербицкий А. А. Самостоятельная работа студентов: проблемы и опыт / А. А. Вербицкий, Ю. Попов, В. Подлеснов, Е. Андросюк // Высшее образование в России. – 1995. – Т. 2. – С. 137-145.
2. Кудрявцев В. Т. Психология раннего студенческого возраста / В. Т. Кудрявцев [и др.]: под ред. Бережковской Е. Л. – М.: Проспект, 2014. – 192 с.
3. Малева А. А. Практикум по методике преподавания информатики / А. А. Малева, В. В. Малев. – Воронеж: ВГППУ, 2006. – 148 с.
4. Полат Е. С. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования / Е. С. Полат. – М.: «Академия», 2000. – 273 с.

## ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ ОХЛАЖДАЕМОГО СЛИТКА

*Бодряга В.Е.<sup>1</sup>, Толстых В.К.<sup>1</sup>*, д-р физ.-мат. наук, проф., *Бондарец Д.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>Многопрофильный лицей-интернат ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*v.bodriaga@donnu.ru*

**Введение.** Получение качественной и конкурентоспособной металлопродукции возможно только при выплавке металла высокого качества. Физико-химические исследования материалов (рентгеноструктурный анализ, спектральный анализ и т.д.) могут дать информацию о необходимых изменениях состава сплавов, количественном отношении примесей, исследуется структура излома и шлифа, определяют микротвердость, проводят химический анализ материала и др. [1, 2]

Экспериментаторы определяют и описывают основные закономерности влияния температурных режимов и времени металлургического процесса на качество выплавки сталей и сплавов. Рассматривается влияние различных добавок на структуру слитков [3], даются теоретические объяснения физических процессов, происходящих при выплавках металла и дальнейшей его обработке. Результаты их работ содержат практические рекомендации для коррекции технологических режимов. Однако высокая стоимость эксперимента может ограничить возможности исследователя.

В настоящее время высокий уровень возможностей IT технологий, прикладных математических пакетов, базирующихся на развитом математическом аппарате, позволяет ученому составлять современные математические модели процессов, выполнять имитационное моделирование, численно решать и получать результаты достаточно высокой точности [4].

**Целью исследования** является реализация методов интерполяции с использованием экспериментальных данных реального процесса. В этом случае поставленная посредством математического моделирования задача будет максимально приближена к действительным значениям.

**Основная часть.** Допустим поставлена теплофизическая задача, в которой рассчитываются некоторые параметры затвердевающего слитка в машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), где необходимо знание значений экспериментально измеренной температуры по поверхности грани заготовки. Однако, в наличии имеются значения пяти измерений, на рассматриваемом участке затвердевающего слитка.

В этом случае прибегают к интерполяции для расчета промежуточных точек на соответствующих сегментах. Возможна реализация следующих методов: множителей Лагранжа, кубических сплайнов, интерполя-

ционных многочленов Ньютона и др. [5] Наиболее удобным и доступным способом является использование таких программ как MathLab, MathCad, Microsoft Office Excel др. Кроме того, современные оболочки имеют соответствующие библиотеки. Highcharts и amCharts, популярные JS-библиотеки для построения диаграмм; Coreplot, используется для построения графиков для iOS и OS X; aChartEngine, служит для построения графиков для Android [6].

Реализуем методы интерполяционного многочлена Лагранжа и кубических сплайнов с использованием математического пакета MathCad [7].

Длина МНЛЗ составляет около 33 м. Нами рассматривается слиток в области кристаллизатора (1 м) и зоне вторичного охлаждения (ЗВО) (6,28 м) что составляет 7,28 м. Данные экспериментальных замеров температуры (5 значений) предоставлены Днепровским металлургическим комбинатом. Для решения задачи необходимы не менее, чем 100 значений температуры на рассматриваемом участке. Необходимо выполнить интерполяцию значений температуры.

На рис. 1 показан ввод начальных данных: вектор-столбец  $z$  – длина (м) рассматриваемого участка и вектор-столбец  $T$  – измерения температуры, ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Ввод экспериментальных данных

$z := \begin{pmatrix} 0.9 \\ 1.5 \\ 2.4 \\ 4.2 \\ 7.28 \end{pmatrix}$	$T := \begin{pmatrix} 1103 \\ 1053 \\ 1030 \\ 1015 \\ 986 \end{pmatrix}$	$ORIGIN := 1$ $n := 5$ $n := \text{длина}(z)$ $i := 1, 2..n \quad j := 1, 2..n$
---	--	--

Рис. 1. Ввод начальных данных

Непосредственная реализация выше названных методов интерполяции приведена на рис. 2.

Интерполяционный многочлен Лагранжа	Интерполяция кубическими сплайнами
$Logranj(p) := \sum_i \left( T_i \prod_j \text{if} \left( i = j, 1, \frac{p - z_j}{z_i - z_j} \right) \right)$	$c := \text{cspline}(z, T) \quad f(zT) := \text{interp}(c, z, T, zT)$

Рис. 2. Программирование в среде MathCad

**Заключение.** Результаты представлены на рис. 3. Минимум ложных экстремумов содержит интерполяционная кривая, полученная методом кубических сплайнов. Однако не стоит отрицать тот факт, что и посредством многочлена Лагранжа получены удовлетворительные данные.

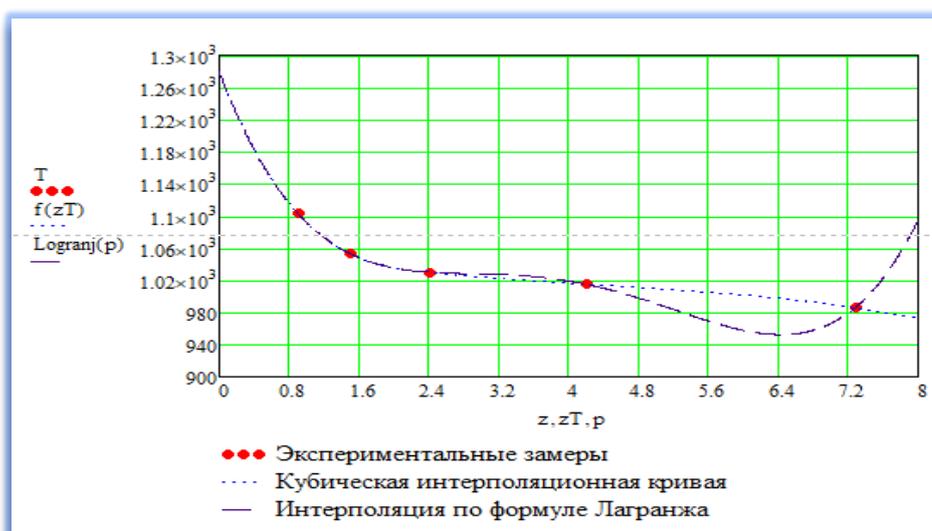


Рис. 3. Интерполяционные кривые

Результаты расчетов можно использовать в качестве значений экспериментальной температуры, к примеру, при вычислении критериев качества.

### Список литературы

1. Влияние внешних энергетических воздействий на структуру и фазовый состав титана при многоциклового усталости : монография / С. В. Коновалов, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов и др. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской академии наук, 2020. – 183 с.
2. Влияние примесей и микролегирования на структуру и эксплуатационные свойства монокристаллов жаропрочных никелевых сплавов : учебное пособие / В. В. Сидоров, Д. Е. Каблов, Е. Б. Чабина и др.; под общ. ред. Д. Е. Каблова. – Москва: ВИАМ, 2020 – 335 с.
3. Горячее цинкование кремнийсодержащих сталей / О. С. Бондарева, А. А. Мельников, Г. В. Макаров, В. В. Чех. – Москва: Инновационное машиностроение, 2019. – 183 с.
4. Моделирование систем: учебное пособие / И. А. Елизаров, Ю. Ф. Мартемьянов, А. Г. Схиртладзе, А. А. Третьяков. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 96 с.
5. Турчак Л. И. Основы численных методов: учебное пособие / Л. И. Турчак. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит. 1987. – 320 с.
6. Поспелова А. Интерполяция данных: соединяем точки так, чтобы было красиво [Электронный ресурс] / А. Поспелова – Электрон. текстовые дан. – 2015. – URL: <https://habr.com/ru/post/264191/> (дата обращения 12.09.2021)
7. Программирование в среде MathCAD: учеб.-метод. пособие для бакалавров инженерных и физических специальностей / сост. В. К. Толстых. – Донецк: ДонНУ, 2010. – 128 с.

## РЕКОМЕНДАЦИЯ НОВОСТНЫХ СТАТЕЙ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Бондаренко В.И.**, канд. техн. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*bondarenko@donnu.ru*

**Введение.** Современный мир переполнен новостной информацией, в море которой легко захлебнуться. Поэтому производятся усилия структурировать новостные ленты, формировать подборки из новостей различных СМИ, разрабатываются инструменты, которые могут помочь в поиске, предлагая тот контент, который предпочтителен для пользователя.

**Целью работы** является исследование методов рекомендации новостей из интернет-источников. Разрабатываемая система должна рекомендовать новые статьи, которые следует предложить пользователю на основе той статьи, которую он сейчас читает.

**Основная часть.** Использование моделей обработки естественного языка (NLP, Natural language processing), основанных на долго обучаемых нейронных сетях, является чрезмерным для использования в поставленной задаче.

Трудность со словами – дискретными символами классического NLP – представляет отсутствие определения схожести для one-hot векторов. Поэтому альтернатива – обучиться кодировать подобие в сами векторы. Строится плотный вектор (dense vector) для любого слова так, чтобы встречающиеся в похожих контекстах слова имели подобные вектора. Векторное представление является стартовой точкой для большинства задач NLP и делает глубокое обучение действенным на небольших наборах данных.

В качестве основных относительно простых векторизаторов текста можно отметить Bag-of-Words (BoW), Tf-Idf, Word2Vec. При этом, в отличие от BoW, Tf-Idf определяет важность слов не только по частоте текста, но и по обратной частоте документа [1].

При исследовании системы рекомендаций с векторизатором TF-IDF получены оценки сходства для пяти рекомендуемых статей (табл. 1). Результаты показывают, что хотя система и дает подходящие рекомендации по подбору новостных статей, но сами оценки сходства имеют невысокое значение, что говорит о недостаточности модели.

Модель GloVe работает над подбором векторов для моделирования гигантской матрицы совпадений слов, построенной из корпуса [2]. GloVe стремится решить проблему низкой эффективности использования статистики совпадений в корпусе (характерную для word2vec) захватом значения одного word embedding со структурой всего обозримого корпуса.

Чтобы сделать это, модель ищет глобальные совпадения числа слов, минимизирует среднеквадратичное отклонение, выдает пространство вектора слова с осмысленной субструктурой.

Таблица 1

Оценки сходства для модели с векторизатором TF-IDF

Номер рекомендуемой статьи	Коэффициент сходства
1	0,56601716
2	0,49837752
3	0,4792004
4	0,46857784
5	0,46037552
Усредненное значение	0.49

Таким образом, эксперименты на большом наборе новостных источников можно проводить быстрее с GloVe. Один раз построив матрицу коллокаций, можно по ней готовить эмбединги разных размерностей, выбирать оптимальный вариант.

Для обучения модели на текстовом корпусе дампа портала lenta.ru [3] использовались параметры, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Параметры обучения модели

Параметр	Значение
window	15
vector size	50
epochs	15
threads	8
vocab min count	5
binary	2
x_max	10
alpha	0.75
learning_rate	0.05

В результате обучения получен набор векторов слов, в котором содержится 1 354 248 уникальных слов, 141 513 616 токенов.

Было проведено исследование системы рекомендаций англоязычных новостей с использованием модели GloVe, которая предварительно обучена на текстовом корпусе Wikipedia (токенов – 840В, словарный запас – 2,2М, векторы – 300D, объем 2,03 ГБ).

Для обеих вариантов получены оценки сходства для пяти типов рекомендуемых новостных статей.

Сравнительный анализ (рис. 1, а) показывает небольшое превышение (13 %) оценок схожести для англоязычных источников над русскоязычными для модели GloVe.

Сравнение оценок схожести для всех трех исследованных в работе систем рекомендаций приведены на рис. 1, б.

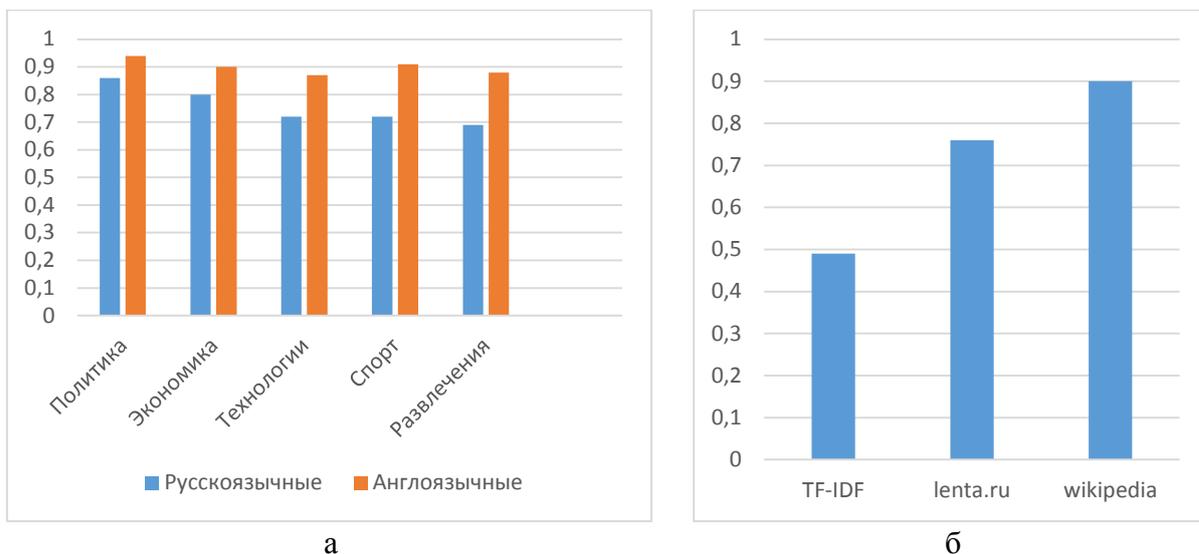


Рис. 1. Оценки схожести новостных статей:  
а – оценки для англо- и русскоязычных источников;  
б – усредненные коэффициенты сходства для разных моделей

**Выводы.** Оценки схожести текстов, основанные на моделях GloVe, значительно превышают те, которые используют простые векторизаторы, в частности, TF-IDF; модель GloVe, обученная на корпусе русскоязычных новостей, уступает модели для англоязычных текстов, предварительно обученной Google, на 13 %.

Результаты применения разработанной технологии подтверждают ее эффективность.

### Список литературы

1. Beel J. Research-paper recommender systems: A literature survey / J. Beel, B. Gipp, S. Langer, C. Breitinger // International Journal on Digital Libraries. – 2015. – P. 1-34.
2. Pennington J. Glove: Global Vectors for Word Representation / J. Pennington, R. Socher, C. Manning // Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). – Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2014. – P. 1532-1543.
3. GitHub – yutkin/Lenta.Ru-News-Dataset: Corpus of Russian news articles collected from Lenta.Ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/yutkin/Lenta.Ru-News-Dataset> (дата обращения: 05.05.2021).

## О РАЦИОНАЛЬНОМ РАСЧЁТЕ И ПРОЕКТИРОВАНИИ БЫТОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Дёмин М.В.*, канд. техн. наук, доц., *Берестовенко А.А.*, *Козлов И.В.*

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
имени Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, ДНР  
*demin.m@mail.ru*

Особенно важной задачей на предприятиях машиностроения является производство широкого ассортимента конкурентоспособных видов холодильного торгового оборудования. Применение современных методов проектирования позволяет повысить качество этого оборудования, сократить срок от проектирования до внедрения его в производство.

Изготовление конструкторской и технологической документации, отвечает современным требованиям к качеству, точности и времени выполнения невозможно без использования компьютерной техники. Компьютерное проектирование позволяет использовать не только универсальные возможности машинной графики и имеет большие возможности в сфере двухмерных графических построений, но также стало гибким, надежным инструментом построения трехмерных моделей. Такой подход к проектированию дает конструкторским и дизайнерским мыслям зримую форму, стимулирует творческий подход.

Цель данной работы, ознакомление будущих инженеров с методикой компьютерного проектирования бытовых холодильных приборов.

В процессе обучения, студенты направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Холодильные машины и установки», должны уметь: осуществлять рациональный расчет и подбор холодильного и торгового оборудования; выполнять проектирование холодильного и торгового оборудования и его структурных частей с помощью компьютерных технологий. При этом они должны уметь осуществлять расчёт теплопритоков в охлаждаемый объём бытового холодильника, используя программное обеспечение Excel, а так же квалифицированно использовать программный пакет AutoCAD для проектирования бытового холодильного прибора, опираясь на результаты проведённых расчётов.

При проектировании бытовых холодильных приборов, будущие инженеры должны свободно разбираться в схемах холодильного оборудования, рационально проводить расчёт основных параметров работы бытового холодильного прибора.

Для подбора компрессора, конденсатора, испарителя необходимо произвести расчет теплопритоков в охлаждаемый объём холодильника:

через ограждающие поверхности (стенки холодильного шкафа), от открывания дверцы и от хранящегося продукта.

Суммарные теплопритоки, поступающие внутрь охлаждаемого объема, определяются по формуле:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \text{ Вт}$$

где:  $Q_1$  – теплопритоки через ограждения, Вт;  $Q_2$  – теплопритоки от людей (учитывается для крупных холодильных камер), Вт;  $Q_3$  – теплопритоки вследствие вентиляции (учитывается для крупных холодильных камер), Вт;  $Q_4$  – теплопритоки эксплуатационные, Вт;  $Q_5$  – теплопритоки от хранящихся продуктов, Вт;  $Q_6$  – теплопритоки от оборудования (учитывается для крупных холодильных камер), Вт.

После проведения расчетов, и подбора оборудования студенты приступают к проектированию шкафа бытового холодильного прибора.

С помощью программы AutoCAD (рис.) создают двухмерное изображение проектируемых холодильных приборов. В области двумерного проектирования AutoCAD позволяет использовать элементарные графические примитивы для получения сложных объектов [1].

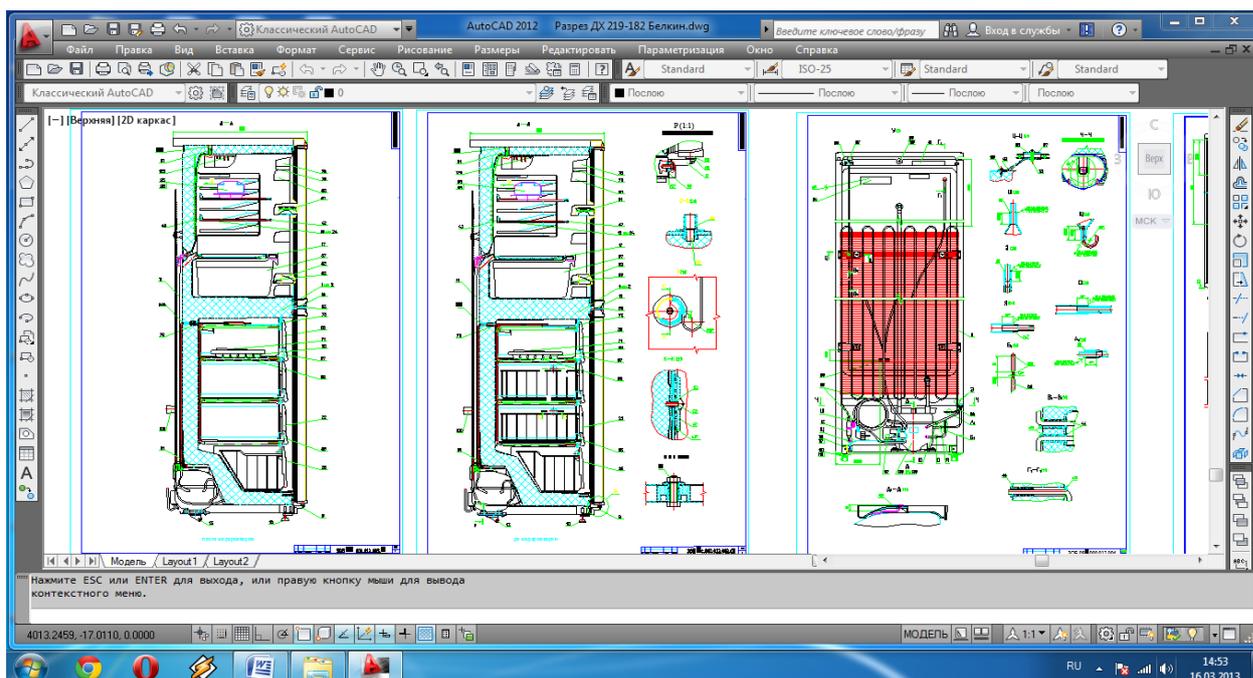


Рис. Фрагмент компьютерной программы AutoCAD с помощью которой создают двухмерное изображение проектируемых холодильных приборов

Зная внутренний объем холодильника, площадь его основания назначают высоту шкафа ( $H_x$ ). Для холодильника двух- или трех камерного расчетная высота находится в пределах 1,3...1,9 м.

Приступая к построению шкафа, при помощи команды «Прямоугольник» вырисовываем внутренний шкаф холодильника. Он имеет

заданную высоту и заданную глубину. Расстояние между внутренней и наружной поверхностями холодильника не одинаково. Это связано с различной толщиной термоизоляции холодильника.

При помощи команды «Подобие» вырисовывается прямоугольник, стороны которого равноудалены от всех сторон внутреннего шкафа. Значение этого удаления можно принять 50 мм. Затем при помощи команды «Расчленить» разбиваем наружный прямоугольник на отдельные отрезки. Перемещаем их на соответствующие расстояния равные толщинам стенок. Это можно осуществить при помощи команды «Переместить». Затем разомкнутый контур наружного шкафа необходимо соединить.

Следующим этапом является прорисовка компрессорной ниши. Благодаря этой нише компрессор помещается в нижнюю часть холодильника, не выходя за габариты холодильника. Для проектирования данного элемента необходимо знать габаритные размеры компрессора который будет установлен в этот холодильник. Их можно узнать по окончанию теоретического расчета и подбора элементов холодильной машины. На высоте  $H_n$  (высота компрессорной ниши) равной высоте компрессора проводим горизонтальный отрезок длиной равной  $0,8$  габаритной ширины компрессора ( $0,8L_{км}$ ). Затем под углом  $300^\circ$  ( $-60^\circ$ ) чертим отрезок длиной 250 мм. Образованную горизонтальную и наклонную линии необходимо скопировать вверх и вправо на 68 мм, соответственно. При помощи команд «Обрезать» и «Продлить» необходимо создать замкнутый контур. Проектируемый шкаф начинает приобретать очертания.

Следующим этапом является прорисовка внутренних и наружных поверхностей шкафа.

Таким образом, в процессе обучения, студенты способны провести как рациональный расчёт теплопритоков бытовых холодильных приборов используя программное обеспечение Excel, так и спроектировать данный холодильник, используя программный пакет AutoCAD, базируясь на результаты расчётов.

### Список литературы

1. Дёмин. М. В. «Компьютерное проектирование холодильной техники» [Текст]: Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Холодильные машины и установки» очной и заочной форм обучения / М. В. Дёмин. – ДонНУЭТ, 2021. – 43 с.

## РАЗВЕДОЧНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЯХ

**Ермоленко Т.В.**, канд. техн. наук, доц., **Конончук Э.В.**  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*ed.ambidexter@gmail.com*

**Введение.** Технологии интеллектуального анализа данных позволяют выявлять скрытые закономерности в множестве данных и связать их с влиянием разных факторов для прогнозирования вероятности появления и развития негативных событий, наиболее массовыми из которых являются дорожно-транспортные происшествия (ДТП). Качественно построенная предиктивная модель опасности возникновения ДТП, внедренная в систему мониторинга, необходима для снижения рисков нештатных и аварийных ситуаций и оказания экстренной помощи.

Разведочный анализ данных заключается в определении их основных характеристик и взаимосвязей между предикторами с целью сужения набора методов, используемых для создания предиктивной модели.

**Целью** работы является разведочный анализ факторов влияния на возникновения ДТП, по результатам которого будет осуществляться выбор модели машинного обучения для оценки серьезности ДТП.

**Описание набора данных.** В работе использовался набор данных о ДТП, взятый с сайта Kaggle [1]. Набор содержит 47 полей, это – факторы, описывающие: серьезность аварии; протяженность дороги, пострадавшей от аварии; ее GPS-координаты; ряд метеорологических наблюдений; наличие тех или иных знаков, перекрестков, светофоров, остановок, лежащих полицейских; период дня, в который произошла авария.

Набор данных содержит 1 516 064 записей, пустых значений – 2 427 878. Факторы, которые вошли в предиктивную модель, приведены в таблице.

Таблица

Описание используемых переменных

№	Обозначение	Описание
1	2	3
1.	Severity	серьезность аварии, число от 1 до 4, 1 – наименьшее воздействие на движение, а 4 – значительное влияние, целевая переменная
2.	Temperature(F)	температура в Фаренгейтах, предиктор
3.	Wind_Chill(F)	температура ветра в Фаренгейтах, предиктор
4.	Humidity(%)	влажность воздуха в процентах, предиктор
5.	Pressure(in)	давление воздуха в дюймах, предиктор
6.	Wind_Speed(mph)	скорость ветра в милях в час, предиктор
7.	Precipitation(in)	количество осадков в дюймах, предиктор

1	2	3
8.	Amenity	наличие удобств в близлежащем месте, предиктор
9.	Bump	наличие лежачих полицейских или горных дорог, предиктор
10.	Crossing	наличие перекрестка в близлежащем месте, предиктор
11.	Give_way	наличие знака «Уступи дорогу», предиктор
12.	Junction	наличие перекрестка, предиктор
13.	No_Exit	наличие тупика, предиктор
14.	Railway	наличие железной дороги, предиктор
15.	Roundabout	наличие кругового перекрестка, предиктор
16.	Station	присутствие остановки, предиктор
17.	Stop	наличие знака «Стоп», предиктор
18.	Traffic_Calming	наличие зон спокойного движения, предиктор
19.	Traffic_Signal	наличие светофора, предиктор

**Разведочный анализ данных.** Первый этап разведочного анализа – проверка данных на выбросы, для чего использовалось 2 метода: средних отклонений [2] и диаграмма размахов [3]. Оба метода показали наличие выбросов. Записи, содержащие выбросы и пустые значения, были удалены, после чего объем выборки уменьшился до 307 565.

Следующий этап – проверка переменных на коллинеарность (рис. 1).

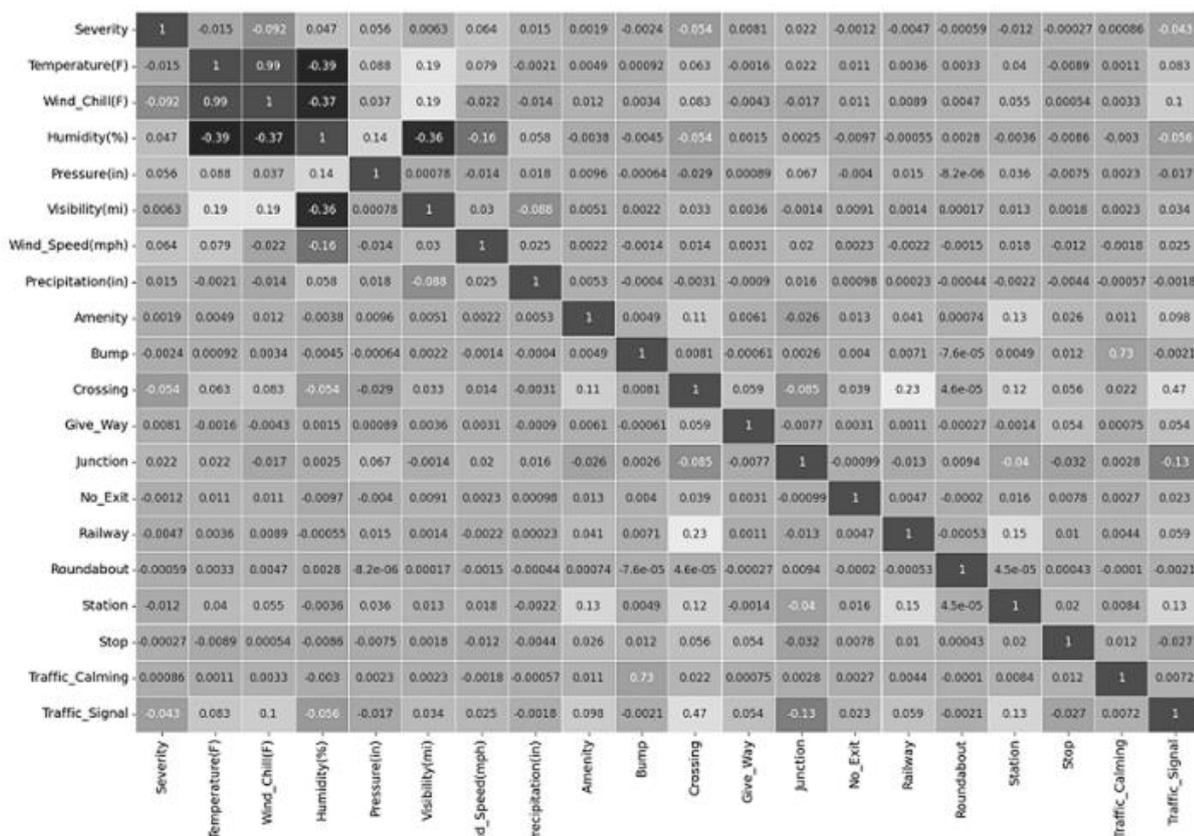


Рис. 1. Корреляционная матрица признаков

Видна корреляция между переменными Temperature(F) и Wind\_Chill(F), а также между Bump и Traffic\_Calming. Для устранения

корреляции между признаками и сокращения размерности перспективным представляется использовать анализ главных компонент [4].

Как видно из первой строки корреляционной матрицы, линейная связь между зависимой переменной Severity и остальными предикторами практически отсутствует. Следовательно, методы линейного регрессионного анализа для построения модели неприменимы.

Пример точечного графика зависимости целевой переменной Severity от предиктора Pressure(in) показан на рис. 2. Аналогичную картину можно наблюдать и для остальных предикторов.

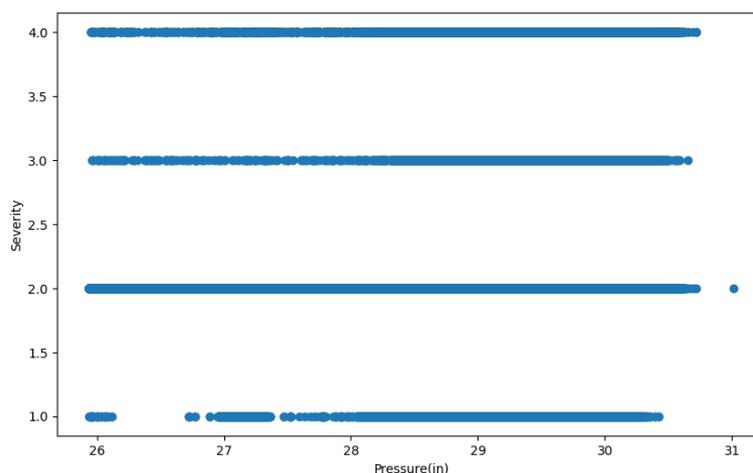


Рис. 2. Зависимость Severity от предиктора Pressure(in)

На основе визуального анализа графиков зависимости сделать предположение о форме зависимости невозможно. В этом случае для построения предиктивной модели наиболее логичным представляется использовать глубокую нейросеть, т.к. ее скрытые слои извлекают из входных данных внутренние представления, которые затем преобразуются в такое расположение точек в гиперпространстве, чтобы выходной линейный слой смог их легко разделить на классы [5].

**Заключение.** В результате разведочного анализа данных выявлена мультиколлинеарность, для борьбы с которой предлагается использовать анализ главных компонент. Для построения предиктивной модели целесообразно применить аппарат глубоких нейронных сетей.

### Список литературы

1. <https://www.kaggle.com/sobhanmoosavi/us-accidents>
2. [https://www.researchgate.net/publication/283755180\\_Labeling\\_Methods\\_for\\_Identifying\\_Outliers](https://www.researchgate.net/publication/283755180_Labeling_Methods_for_Identifying_Outliers)
3. [https://www.researchgate.net/publication/237661234\\_Identify\\_outliers\\_understand\\_the\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/237661234_Identify_outliers_understand_the_Process)
4. [https://www.researchgate.net/publication/351330330\\_Principal\\_Components\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/351330330_Principal_Components_Analysis)
5. Zhang Y. Extracting deep neural network bottleneck features using low-rank matrix factorization / Y. Zhang, E. Chuangsuwanich, J. Glass // IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP). – 2014. – С. 185-189.

## ВЫБОР ИНФОРМАТИВНОГО ВЕЙВЛЕТ-БАЗИСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АУДИОЗАПИСЕЙ СЕРДЦЕБИЕНИЯ

*Ермоленко Т.В.*, канд. техн. наук, доц., *Ролик Д.В.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*krolik.abc@mail.ru*

**Введение.** Интеллектуальные системы анализа ритма сердцебиения, среди которых значительную роль играют системы обнаружения сердечных патологий по аудиозаписям сердцебиения, помогают своевременно обнаружить признаки сердечного заболевания. Ранняя диагностика делает лечение дешевым, что может уменьшить осложнения, а также снизить стоимость лечения. Качество классификации аномалий сердцебиения существенно зависит от метода параметризации звукового сигнала на основе которого проводится анализ частотно-временных характеристик компонент кардиограммы и формируется вектор признаков. Самые многообещающие результаты дает использование техники вейвлет-преобразования.

**Целью** данной работы является исследование на информативность с помощью энтропийного критерия вейвлет-базисов, получивших широкое распространение в цифровой обработке звуковых сигналов.

**Описание набора данных.** В работе использовался набор данных, содержащий аудиозаписи сердцебиения, взятый с сайта Kaggle [1]. Набор содержит 821 аудиозаписей, аудиофайлы имеют разную длину, от 1 секунды до 30 секунд.

Набор данных содержит категории «Нормальное сердцебиение», «Сердцебиение с шумами», «Экстрасистолия», «Сердцебиение с артефактами», «Дополнительный звук сердца».

**Вычисление характеристик вейвлет-фильтров.** В рамках данной работы рассмотрены следующие вейвлеты: Мексиканская шляпа (mexh), Морле (Morl), Гаусса (gaus), Добеши (db), Койфмана (coif), Симлеты (sym).

Для вычисления характеристик банка вейвлет-фильтров определены центральная частота и ширина полосы пропускания материнского вейвлета  $w(t)$  согласно (1), (2) [2]:

$$\langle t \rangle = \frac{1}{\|w(t)\|^2} \int_{-\infty}^{\infty} t |w(t)|^2 dt, \quad (1)$$

$$\Delta_w = \frac{1}{\|w(t)\|} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} (t - \langle t \rangle)^2 |w(t)|^2 dt \right]^{1/2}, \quad (2)$$

где  $\langle t \rangle$  – центр окна,  $\Delta_w$  – радиус окна вейвлета  $w(t)$ .

Информация о сердечных тонах находится на низких частотах между 50 и 200 Hz и частотой дискретизации 22 kHz [3]. Форма амплитудно-частотной характеристики зависит как от самого анализирующего

вейвлета, так и от набора масштабов, на которых выполняется преобразование. В связи с чем был произведен выбор начального ( $j_{\min}$ ) и конечного ( $j_{\max}$ ) уровней разложения, на которых осуществляется обработка и анализ по формулам (3):

$$j_{\min} = \text{int} \left( \log_{a_0} \frac{f_d \langle \omega \rangle}{2\pi f_2} \right), \quad j_{\max} = \text{int} \left( \log_{a_0} \frac{f_d \langle \omega \rangle}{2\pi f_1} \right), \quad (3)$$

где  $\text{int}()$  – округление до ближайшего целого,  $a_0$  – шаг масштабирующей переменной (в нашем случае был выбран 1.1),  $f_d$  – частота дискретизации,  $f_1$  и  $f_2$  – диапазон частот.

В результате для вейвлет-анализа сигнала по всем исследуемым базисам достаточно 16 уровней разложения.

**Исследование вейвлет-базисов на информативность.** Для более полного описания звуков, имеющих характерные спектральные особенности, единственного вейвлетного базиса может оказаться недостаточно. Таким образом, оправдан мультивейвлетный подход, при котором подлежат рассмотрению результаты вейвлет-преобразования, выполненного в нескольких базисах [4]. Для оценки информативности может быть использован критерий энтропии.

В данной работе энтропия  $H$  для дискретного сигнала  $f$  длиной  $N$  рассчитывается через его коэффициенты разложения по вейвлет-базису  $d_{ml}$  следующим образом:

$$H(f, B^\lambda) = - \sum_{m=j_{\min}}^{j_{\max}} \sum_{l=0}^{N-1} \frac{d_{ml}^2}{E} \ln \left( \frac{d_{ml}^2}{E} \right) \quad (4)$$

где  $B^\lambda$  – семейства вейвлетов, характеристики которых были рассчитаны по формулам выше.

Результаты проведенных в ходе данной работы исследований приведены на рисунке. Показанные на рисунке значения энтропии распределения энергии исследуемых вейвлет-базисов получены для звуков, принадлежащих различным типам сердцебиения.

На рисунке можно увидеть следующие обозначения: Normal – нормальное сердцебиение; Murmur – сердцебиение с шумами; Extrahls – дополнительный звук сердца; Extrasystole – экстрасистолия; Artifact – сердцебиение с артефактами.

Как видно из рисунка, для описания различных типов сердцебиения наиболее информативным является вейвлет Морле. Значения энтропии распределения энергии, полученные для записей сердцебиения с артефактами по всем базисным функциям, различаются незначительно.

Вычисления вейвлетов и энтропии были произведены при помощи инструментов Matlab и waveletAnalyzer [5].

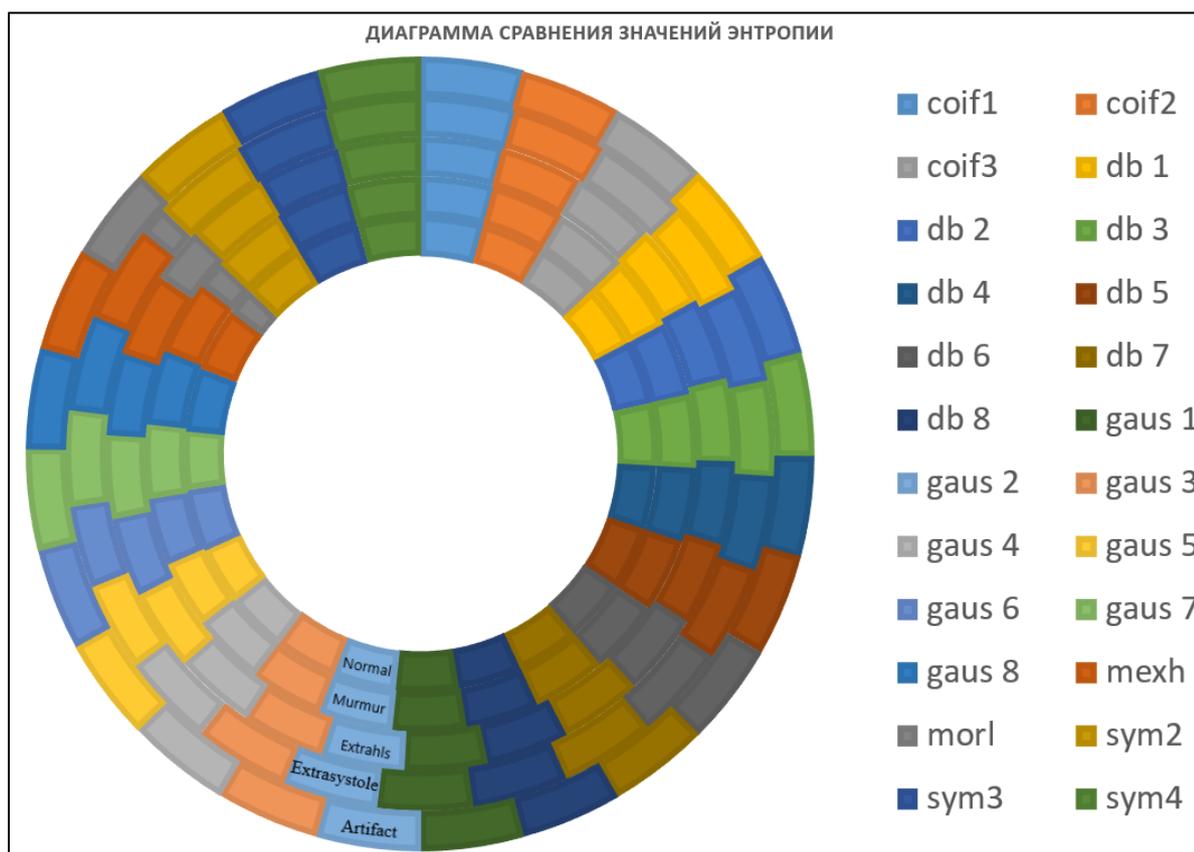


Рис. Диаграмма сравнения значений энтропии, полученных для звуков разных сердечбиений с помощью различных вейвлет-базисов

**Заключение.** В результате проведенных исследований по энтропийному критерию наибольшую информативность для анализа аудиозаписей сердечбиения, как нормального, так и при определенных патологиях, показал вейвлет Морле.

### Список литературы

1. <https://www.kaggle.com/kinguistics/heartbeat-sounds>
2. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и некоторые приложения / Н. М. Астафьева // Успехи физических наук. – 1998. – №11. – С. 1145-1170.
3. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3396354/>
4. Ермоленко Т. В. Применение вейвлет-преобразования для обработки и распознавания речевых сигналов / Т. В. Ермоленко // Искусственный интеллект. – 2002. – №4. – С. 200-208.
5. <https://www.mathworks.com/help/wavelet/ref/cwt.html#bvayt13-3>

## ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ФАЦИЙ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ КРОВИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Ермоленко Т.В.*, канд. техн. наук, доц., *Савенков И.Н.*, *Хвиль А.Д.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*fadyzed@gmail.com, sim675kn@gmail.com*

**Введение.** Активно развивающейся, перспективной и значимой областью применения компьютерного зрения является анализ изображений, полученных при микроскопии крови. Как известно, анализ крови способен показать какие-либо проблемы с организмом пациента. Один из показателей заболевания – это аномальный вид фации в сравнении с здоровым видом. Разработка системы технического зрения для распознавания специфических структур на таких изображениях, определение их количественных и качественных показателей позволяют значительно повысить эффективность медицинской диагностики.

Фация представляет собой твердотельную пленку, полученную методом клиновидной дегидратации сыворотки крови [1]. В процессе самоорганизации биологических жидкостей специфические структуры данных молекул формируют локальные структуры надмолекулярного уровня, доступные для визуального анализа.

Задача классификации биомедицинских изображений зачастую решается с использованием алгоритмов машинного обучения, а наиболее часто используемыми инструментами при этом являются сверточные нейронные сети [2-4].

**Целью** данной работы является разработка архитектуры нейросети для определения аномальной фации по ее изображению в составе системы классификации заболевания крови.

**Описание и предварительная обработка данных.** Исходные данные представляют собой 4480 цифровых фотографий здоровых фаций и 12448 аномальных в формате RGB с размером 250 на 250 пикселей. Пример входных изображений приведен на рис. 1.

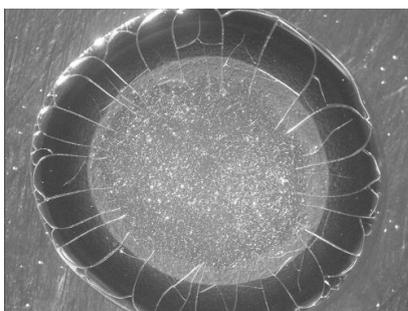


Рис. 1. Изображение фации в градациях серого

Данные были разделены на тренировочную часть (75 % от общего количества), валидационную часть (10 %) и тестовую часть (15 %). Тестовая часть была необходима, чтобы контролировать, что модель не переобучается в процессе тренировки, а валидационная – для итоговой оценки качества работы модели.

**Архитектура нейронной сети для выявления аномальных фаций.**  
 Для бинарной классификации изображений фации разработана сверточная сеть, архитектура которой показана на рис. 2.

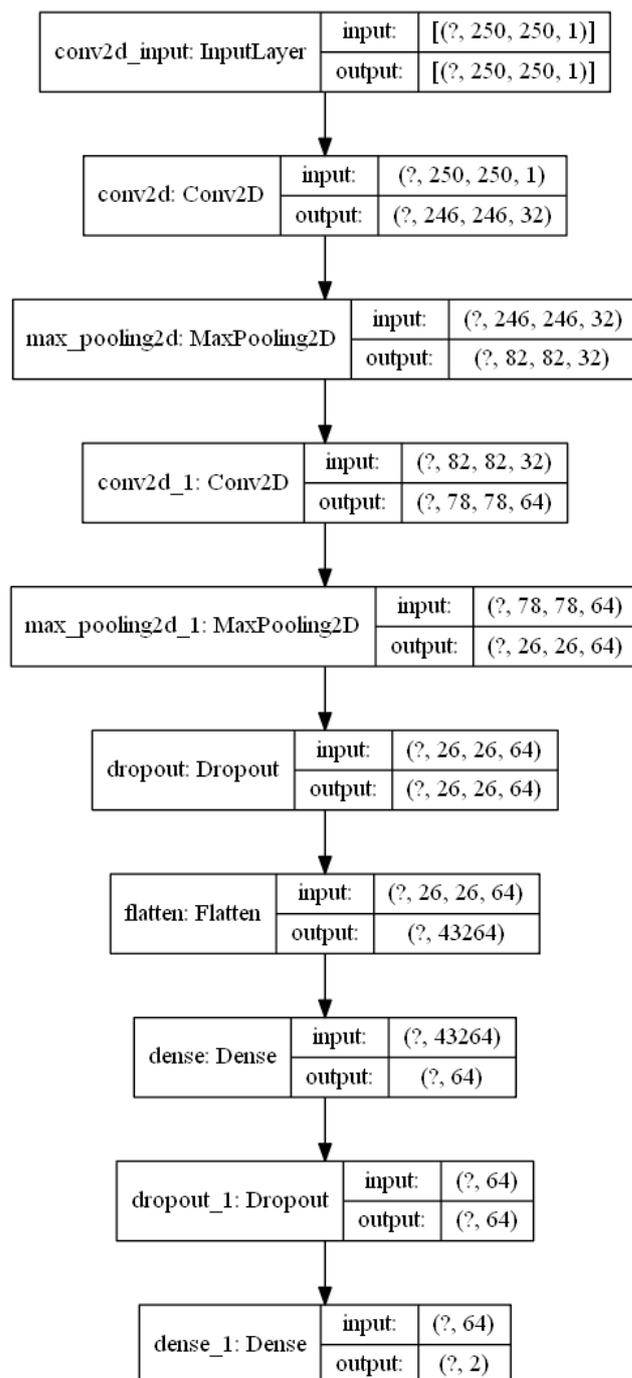


Рис. 2. Архитектура сети для выявления аномальных фаций

Используемая сверточная нейросеть имеет следующие параметры: количество скрытых слоёв – 512; размер входных векторов – 250x250; размер батча – 32 (данный датасет объёмный, поэтому данные делятся на пакеты (батчи), что позволяет оптимизировать процесс обучения модели); функция потерь – разреженная кросс-энтропия; коэффициент dropout-регуляризации – 0.5; оптимизатор для градиентного спуска – Adam [5]; коэффициент скорости обучения – 0.0001; количество эпох – 25; количество полносвязных слоев – 2; функция активации полносвязных слоев – rectified linear unit (relu).

После обучения было проведено тестирование модели. В качестве метрик использовались стандартные метрики полноты, точности, F-мера (F1-score), а также точность классификации (Accuracy), которая составила 82 %. Остальные результаты тестирования показаны в таблице.

Таблица

Результаты тестирования модели

Класс фации	Метрика оценки качества модели		
	Точность	Полнота	F-мера
Здоровая	0,28	0,87	0,42
Аномальная	0,72	0,80	0,76

**Заключение.** Как видно из таблицы, применение предложенной модели для бинарной классификации дает вполне удовлетворительные результаты для класса аномальных фаций. В дальнейшем робастность признаков, а следовательно, и точность классификации планируется повысить с помощью аугментации обучающих данных и применением операторов Собеля и Кэнни на этапе предварительной обработки.

### Список литературы

1. Савина Л. В. Структурообразование сыворотки крови в условиях вакуума / Л. В. Савина // Клиническая лабораторная диагностика. – 1999. – №11. – С. 10-89.
2. Macawile M. J. White blood cell classification and counting using convolutional neural network / M. J. Macawile, V. V. Quinones, A. Ballado, J. D. Cruz, & M.V. Caya // 3<sup>rd</sup> International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE). – 2018. – P.259-263.
3. Tiwari P. Detection of subtype blood cells using deep learning / P. Tiwari, J. Qian, Q Li, B. Wang, D. Gupta, A. Khanna, J. Rodrigues, V. Hugo // Cognitive Systems Research. – 2018. – P.1036-1044.
4. Xu, M. A deep convolutional neural network for classification of red blood cells in sickle cell anemia. // M. Xu, D. P. Papageorgiou, S. Z. Abidi, M. Dao, H. Zhao, G. E. Karniadakis. // PLOS Computational Biology. – 2017. – 13(10). – P. 1-27.
5. Kingma D.P., Ba J. Adam: A method for stochastic optimization // arXivpreprint arXiv:1412.6980. 2014.

## АЛГОРИТМ СЕГМЕНТАЦИИ НИЗКОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЙРОСЕТЬЮ

*Заблоцкая Т.Ю.*

Старооскольский филиал ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет», г. Старый Оскол, РФ

*Zablotskaya@bsu.edu.ru*

**Введение.** Нелинейные характеристики гистерезисного типа, описывающие механизм конформационных переходов нейронов и межнейронных взаимодействий, повышают степень управляемости и гибкость настройки биологически обоснованной нейронной сети, что говорит в пользу их применения для решения задач цифровой обработки низкоконтрастных изображений. В работе представлен алгоритм применения предложенной автором биоИНС для решения таких задач.

**Основная часть.** Согласно исследованиям в области нейросетевого моделирования, биологический нейрон окружен рецептивными кластерами, которые, в соответствии с гистерезисной зависимостью, способны оказывать эндогенное (внутрисетевое) влияние на соседние нейроны сети, инициируя их активность (серию спайков). При этом динамика изменения мембранного потенциала отдельного нейрона определяется предысторией его состояния и групповой активностью соседних нейронов сети [1]. Для решения задач сегментации низкоконтрастного изображения со стохастической структурой удобной для практического использования является модель биоИНС Кашенко-Майорова, которая учитывает гистерезисную природу межнейронных связей внутри сети и для единичного нейрона формулируется в виде:

$$\dot{u} = \lambda [(-1 + f_K(u(t-1)) - f_{Na}(u))] \cdot u, \quad (1)$$

где параметр  $\lambda$  определяет скорость восстановления мембранного потенциала нейрона [2].

После объединения в сеть динамика каждого нейрона внутри сети учитывает также воздействие со стороны соседних элементов и описывается дифференциальным уравнением:

$$\dot{u}_i = \lambda [-1 + f_K(u_i(t-1)) - f_{Na}(u_i) + Y_i \cdot W_i] + I_i, i = 1 \dots N, \quad (2)$$

где  $I_i$  и  $Y_i$  – внешнее воздействие на  $i$ -й нейрон и воздействие со стороны сети соответственно;  $W_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го нейрона в сети;  $N$  – общее количество нейронов.

Внешний входной сигнал на  $i$ -й нейрон может электрическую или химическую природу, из которых электрический тип воздействия удобнее для формализации и может быть представлен в виде системы:

$$I_i = \begin{cases} y_i, & \text{если } \dot{y}_i > \gamma \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}, \quad \dot{y}_i = f(x_i, y_i), y_i(0) = y_0, \quad x_i = B e^{-\alpha t} \sin(t - g_i). \quad (3)$$

Здесь  $\gamma$  – пороговое значение изменения величины  $y_i$ ;  $g_i$  – внешнее воздействие на  $i$ -й нейрон,  $B > 0$ ,  $B = \text{const}$ . Внутрисетевое межнейронное взаимодействие описывается выражением:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^N D_{ij} [(\int_{t-T}^t |u_i - u_j| ds) / (\int_{t-T}^t u_i ds)], \quad (4)$$

где коэффициент  $D_{ij}$  задает силу связи между  $i$ -м и  $j$ -м нейронами внутри сети,  $N$  – количество нейронов сети.

Связь между воздействиями  $x_i$  и  $y_i$  имеет гистерезисный характер и описывается с помощью модели гистерезисного преобразователя:

$$\dot{y}_i = D^{-1} (A\dot{x} - \beta|\dot{x}| |y_i|^{n-1} y_i - \gamma\dot{x} |y_i|^n), \quad (5)$$

где коэффициенты  $A$ ,  $n$ ,  $\beta$  и  $\alpha$  определяют форму петли гистерезиса и характер межнейронной связи внутри биоИНС [3].

Алгоритм сегментации низкоконтрастных изображений предложенной моделью нейронной сети с гистерезисной функцией активации представлен на рисунке. Полутоновое изображение подается на вход биоИНС, матрице пикселей изображения  $M \times N$  соответствует матрица элементов нейронной сети, динамика которой описывается уравнением (2). Входное внешнее возмущение  $I_i$  соответствует яркости пиксела исходного изображения, без учета межнейронных связей внутри сети  $Y_i$ , влияние которых изначально ниже порогового значения. Если амплитуда спайка  $i$ -го нейрона велика, то его влияние на соседние нейроны превысит пороговое, и он диктует им периодичность откликов. Гистерезисная функция активации нейрона, реализованная с помощью феноменологической модели Боука-Вена (3) [3], позволяет регулировать характер межнейронных внутрисетевых взаимодействий путем настройки параметров модели. При этом группы нейронов, подвергающиеся сходным воздействиям, синхронизируются.

**Заключение.** Предложенная модель биоИНС с ГФА имеет существенное преимущество благодаря наличию межнейронной гистерезисной связи, реализованной с помощью феноменологической модели Боука-Вена, что повышает качество синхронизации и отклика модели на входное воздействие, обеспечивает гибкость задания режимов работы за счет возможности параметрического регулирования, повышает эффективность решения задач обработки низкоконтрастных полутоновых изображений.



Рис. Алгоритм сегментации изображений с помощью биоИНС с ГФА

### Список литературы

1. Заблоцкая Т. Ю. Модель биологической нейронной сети для задач цифровой обработки изображений / Т. Ю. Заблоцкая // Вестник современных исследований. – 2-1 (32). – 2020. – С. 15-18.
2. Semenov M. E. Choosing the model of biological neural network for image segmentation of a bio-liquid facie / M. E. Semenov, T.Yu. Zablotskaya // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. – 2019. – Т. 26. № 1. – С. 70-85. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-26-1-70-85
3. T. Yu. Zablotskaya. Analyzing The Classical and Extended Bouc-Wen Model Parameters. Materials of 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency SUMMA2020, ArtID 229. Pp. 576-581.

## ТЕОРИЯ СОБЫТИЙНОЙ ОЦЕНКИ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

*Звягинцева А.В.*, д-р техн. наук, доц.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*a.zvyagintseva@donnu.ru*

**Введение.** Сегодня научное направление комплексной оценки сложных систем формируется в основном как описательная наука, основанная на применении различных экспертных зависимостей и моделей. Существующие методы комплексной оценки не учитывают фундаментальные закономерности сложных систем, в значительной мере являются некорректными и субъективными. Гипотезы, положенные в основу моделей, обычно носят частный характер и не могут служить основой для надежных количественных методов оценки. Для характеристики различных видов сложных систем в мировой практике разработаны комплексы показателей и индикаторов, которые объединяются в рамках 10–15 аспектов (групп) развития систем, в каждый из которых может входить от 5 до 20 показателей. Выбранные группы показателей используются для оценки объектов и систем, но для расчета интегральных индексов чаще всего одновременно применяется не более 5–10 показателей. Следует констатировать, что сегодня остается слабо изученным вопрос о том, как из совокупности в 50–100 исходных показателей выбрать наиболее важные для оценки состояния и развития систем. В этом плане каждый автор руководствуется собственными соображениями и допущениями в данной проблеме. Все это говорит о необходимости разработки универсальных количественных методов, в которых используется объективный подход и возможен выбор любых совокупностей разноплановых показателей для комплексной оценки.

**Основная часть.** Важным направлением исследований в системном анализе является комплекс методов событийной оценки, основанных на анализе событий, отражающий процессы развития систем. Данное направление актуально и имеет большое значение в науке, так как отличается междисциплинарным характером, позволяет предложить объективные методы исследования многомерных систем и выработать общую логическую схему обработки и анализа разноплановой информации и построения феноменологических моделей по отношению к изучаемым системам.

Обычно под событийной оценкой понимается анализ состояния и развития сложных систем на основе наблюдения, регистрации и изучения событий и их апостериорных вероятностей [1, 2]. С событийной оценкой тесно связаны методы комплексной оценки и анализа риска.

Исследование процессов развития сложных систем по совокупности показателей может быть осуществлено на основе представления состояний

объектов как совместных событий наблюдения значений показателей. Это позволяет сформулировать способы обработки и анализа многомерной и разноплановой информации путем непосредственного алгоритмического подсчета апостериорных вероятностей индикативных, неблагоприятных или опасных событий. При рассмотрении состояния системы как события возможно использование переменных, имеющих различные размерности, изучение качественно различных групп показателей и построение уравнений состояний объектов в виде вероятностных распределений [1–5].

В качестве характерных или индикативных событий можно рассматривать самые разные сложные события, которые характеризуют изменения в состояниях системы, особенности поведения этой системы или некоторые ситуации, связанные с наблюдением полезных, опасных или негативных эффектов, нанесением ущерба или получением выгоды. В текущих состояниях систем, которые характеризуются совместными событиями наблюдения значений основных показателей (переменных состояния), будут инициироваться сложные события возникновения различных эффектов и последствий. Соответствующие вероятности событий при наличии значимых причинно-следственных связей будут также связаны между собой. При таком подходе является важным выбор основного индикативного события, по которому может быть оценена вероятность состояния объекта (системы). Таким событием является совместное событие наблюдения значений переменных состояния в конкретный период времени.

Исходя из сформулированных принципов и гипотез, положенных в основу разработки теории событийной оценки [1, 6–11], методика обработки и анализа данных включает следующие этапы [1, 3, 6–11]:

- ✓ составляется массив данных в виде показателей и индикаторов для сложной системы;

- ✓ определяется перечень переменных, наиболее полно характеризующих состояния анализируемых объектов (систем);

- ✓ формулируются совместные события одновременного наблюдения переменных состояния. Алгоритмически по имеющемуся массиву данных непосредственно оцениваются вероятности таких событий;

- ✓ исследуются особенности анализируемой системы, выдвигаются гипотезы и разрабатываются способы определения статистических распределений для совместных событий, устанавливаются регрессионные зависимости для эмпирических распределений на основе применения метода пробит-анализа;

- ✓ формулируются практические методы событийной оценки и многопараметрического ранжирования систем для решения задач рейтингования объектов.

**Заключение.** Таким образом, событийная оценка позволяет для сложных систем сформулировать способы обработки и анализа

многомерной и разноплановой информации на основе изучения индикативных событий и предложить альтернативу использованию экспертных методов.

На основе теории событийной оценки решаются задачи анализа социально-экономического развития стран, регионов и городов, определения рейтингов их развития, задачи, связанные с оценкой загрязнения окружающей природной среды, поведением социальных групп, анализом биоразнообразия, решением технологических вопросов, оценкой опасности и рисков, комплексным исследованием процессов устойчивого развития объектов и территорий и т.д.

### Список литературы

1. Звягинцева А. В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / А. В. Звягинцева: под ред. Г.В. Аверина. – М.: Спектр, 2016. – 257 с.
2. Аверин Г. В. Системодинамика / Г. В. Аверин. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с.
3. Звягинцева А. В. Методика событийной оценки и результаты ранжирования городов России по комплексу показателей / А. В. Звягинцева // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – № 1(10)–2(11), 2016. – С. 157–185.
4. Звягинцева А. В. Событийная оценка состояния городов России по комплексу социально-экономических показателей / А. В. Звягинцева // Научные ведомости Белгородского государственного университета: Сер. Экономика. Информатика. – 2017. – №9(258), вып. 42. – С. 122–132.
5. Звягинцева А. В. Изучение тенденций развития городов России на основе методов событийной оценки / А. В. Звягинцева, О. А. Ивашук, О. В. Пилипенко // Строительство и реконструкция. – 2017. – №6(74). – С. 85–94.
6. Аверин Г. В. О справедливости принципа соответственных состояний для систем различной природы / Г. В. Аверин, А. В. Звягинцева // Научные ведомости Белгородского государственного университета: Сер. Экономика. Информатика. – 2017. – №16(265), вып. 43. – С. 104–112.
7. Аверин Г. В. О континуальном подходе к модельному представлению данных / Г. В. Аверин, И. С. Константинов, А. В. Звягинцева // Вестник компьютерных и информационных технологий. – №10. 2016. – С. 47–52.
8. Аверин Г. В. О подходах к предсказательному моделированию сложных систем / Г. В. Аверин, А. В. Звягинцева, А. А. Швецова // Научные ведомости НИУ БелГУ: Сер. Экономика. Информатика. – 2018. – Т. 45, №1. – С. 140–148.
9. Звягинцева А. В. Модели состояния и развития стран мира на основе оценки статистических вероятностей индикативных событий / А. В. Звягинцева // Научные ведомости Белгородского государственного университета: Сер. «Экономика. Информатика». – 2016. – №16(237), вып. 39. – С. 123–131.
10. Averin G. V., Zviagintseva A. V., Shevtsova M. V. and Kurtova L. N. 2016. Probabilistic methods of a complex assessment of quantitative information. Research Journal of Applied Sciences 11(7): 415–418.
11. Averin G. V., Zviagintseva A. V., Konstantinov I. S., Ivashchuk O. A. Data Intellectual Analysis Means Use for Condition Indicators Assessment of the Territorial and State Formations // Research Journal of Applied Sciences. – 2015. – No. 10(8). – P. 411–414.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ДЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ВРАЧА ПЕДИАТРА

*Ключенко Е.Г., Нестругина Е.С.*, канд. техн. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*elena.klyuchenko2018@yandex.ua*

**Введение.** В настоящее время в медицинских учреждениях наряду с нехваткой квалифицированного персонала возникает проблема постановки точного диагноза пациенту. Особенно это проявляется у врачей педиатров из-за невозможности полного описания всех симптомов детьми. Обработка данных с использованием информационных технологий значительно повышает эффективность диагностики, так как в данном случае учитывается гораздо большее количество симптомов. Этот подход позволяет уменьшить вероятность ошибок и увеличить точность при постановке диагноза. Кроме того, в случае отсутствия специалиста узкого профиля, специалист смежной области при помощи экспертной системы сможет провести диагностику заболевания.

**Целью** работы является разработка экспертной системы врача педиатра с целью повышения точности диагностики заболеваний детей.

**Основная часть.** Экспертные системы врача педиатра представляют собой вопросно-ответные системы с базой знаний в области педиатрии. Эти информационно-поисковые системы обрабатывают введенный врачом вопрос, заданный на естественном языке, и выдают осмысленный лаконичный ответ, являющийся результатом анализа системой соотношения косвенных признаков, соответствующих потенциальным заболеваниям. Пользователю задаются определенные вопросы. Затем на основе этих ответов убираются потенциально не подходящие болезни. Таким образом устанавливается диагноз. Для корректной работы экспертной системы и постановки правильного диагноза необходимо ввести максимальное количество имеющихся у пациента симптомов. При диагностике детских заболеваний применение такой системы проблематично, так как маленький ребенок не может в полном объеме описать свое состояние, перечислить и охарактеризовать все имеющиеся у него симптомы. Следовательно, и сделать диагностику качественно невозможно вследствие неполных входных данных симптоматики [1].

Этот недостаток можно устранить, если при построении экспертной системы использовать вероятностную модель. Введение в экспертную систему новых данных симптоматики осуществляет врач педиатр, являющийся экспертом в данной предметной области. После этого начинается процесс обучения сети, который представляет собой

распространение по байесовской сети вновь поступивших данных. В данном случае байесовская сеть используется для вычисления вероятности болезни у пациента путем сравнения наличия или отсутствия ряда симптомов, основываясь на данных о зависимости между симптомами и болезнями. Таким образом, байесовская диагностика осуществляется по рассчитанным вероятностям путем определения вероятности конкретной болезни ребенка.

Тестирование методов, алгоритмов и программ диагностики заболеваний производится на базах данных, основанных на данных симптоматики группы больных детей с точно установленными заболеваниями. Критерием эффективности диагностики выбирается процент верных диагнозов. Верным диагнозом считается диагноз, математически поставленный экспертной системой, который совпадает с диагнозом, поставленным врачом педиатром.

С помощью машинного обучения, на основе вопросов с известными ответами, происходит выбор единственно верного ответа, с коэффициентом степени уверенности машины в правильности ответа, который предоставляется врачу.

Современный технический потенциал позволяет выйти на качественно новый уровень изучения течения заболевания. Экспертные автоматизированные медицинские системы позволяют смоделировать развитие патологического процесса. Кроме того, в трудных диагностических случаях врач может проверить собственные диагностические предположения, а так же обратиться к компьютеру за консультацией.

**Заключение.** Разработка и внедрение информационных систем является одной из самых актуальных задач в настоящее время. В практической деятельности в области медицины особенно важно внедрение различных медицинских технологий, в том числе экспертных систем.

### Список литературы

1. Жмудяк М. Л. Диагностика заболеваний методами теории вероятностей / М. Л. Жмудяк, А. Н. Повалихин, А. В. Стребуков. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 168 с.
2. Повалихин А. Н. Адаптация метода Байеса к медицинской диагностике / А. Н. Повалихин // Математическое образование на Алтае: труды науч.-метод. конф. (МОНА-2002). – Барнаул: Изд-во БГПУ, 2002. – С.35-38.
3. Бидюк П. И. Построение и методы обучения байесовских сетей / А. Н. Терентьев, А. С. Гасанов // Кибернетика и системный анализ. – 2005. – № 2. – С 139-154.

## ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНОВ

*Ковалев И.Ю., Бондаренко В.И.*, канд. техн. наук  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kiy4.6692@gmail.com*

**Введение.** В наши дни рекомендательные системы используются в интернет-коммерции для того, чтобы помочь пользователям выбрать подходящие товары. Такие системы значительно упрощают поиск релевантных продуктов и обогащают опыт пользователя [1, 2].

На данный момент существует множество методов для формирования рекомендаций, но все они имеют свои преимущества и недостатки. Именно поэтому исследования в данной области актуальны [3, 4].

**Цель работы** – сравнить эффективность алгоритмов коллаборативной фильтрации при прогнозировании рекомендаций.

**Основная часть.** Репозиторий Microsoft Recommenders представляет собой набор утилит Python с открытым исходным кодом и набор файлов Jupyter Notebook, которые помогают ускорить процесс разработки, оценки и развертывания рекомендательных систем. В репозитории показаны примеры того, как эффективно создавать, сравнивать и затем развертывать лучшее рекомендательное решение для данного сценария [5].

MovieLens dataset – один из наиболее распространенных наборов данных, используемых в литературе по системам рекомендаций. Он состоит из набора пользователей, фильмов и рейтингов фильмов. Эти данные уже очищены – пользователи, которые имели менее 20 оценок, были удалены. Набор разделен на обучающие и тестовые наборы в соотношении 75 и 25 процентов соответственно.

Каждый из алгоритмов имеет настраиваемые гиперпараметры. В исследовании использовались параметры с ресурса MyMediaLite [6]. Для уравнивания шансов на успех, длительность обучения ограничена пятнадцатью эпохами.

Нам не очень важно, насколько точно модель предсказывает рейтинг или вероятность клика – от неё лишь требуется дать более релевантным товарам более высокие предсказания. Это значит, что модель должна правильно ранжировать (или сортировать) товары. Поэтому используем метрики: MAP, Precision (точность), Recall (полнота) и nDCG. Для ранжирования метрики выбран топ 10 рекомендаций.

Исследование проводилось на компьютере с процессором AMD Ryzen 7 2700 (8 ядер с частотой 3,2 GHz), объем оперативной памяти составлял 32 Гб, видеокарта в расчётах не использовалась. Результаты тестирования представлены в таблице.

Результаты тестирования алгоритмов

Алгоритм	Precision	Recall	MAP	nDCG	Скорость обучения, сек.	Скорость предсказания, сек.
ALS	0,048356	0,016783	0,004964	0,045957	12,03	0,05
SVD	0,091198	0,032783	0,012873	0,095930	3,77	13,00
SAR	0,333828	0,183179	0,113028	0,388321	0,32	0,06
NCF	0,308696	0,150274	0,082825	0,343622	39,81	3,37
FastAI	0,130329	0,053824	0,025503	0,147866	612,15	2,57
BPR	0,388229	0,212522	0,132478	0,441997	8,74	1,45
BiVAE	0,408590	0,217465	0,143611	0,471218	98,90	1,46
LightGCN	0,351856	0,189389	0,116124	0,404982	81,69	0,08

FastAI показал самый низкий результат по скорости обучения, при этом точность рекомендаций у него заметно ниже, чем у остальных. Алгоритм SVD оказался самым медленным по скорости предсказания. Поэтому данные алгоритмы были исключены из диаграммы (рисунок).

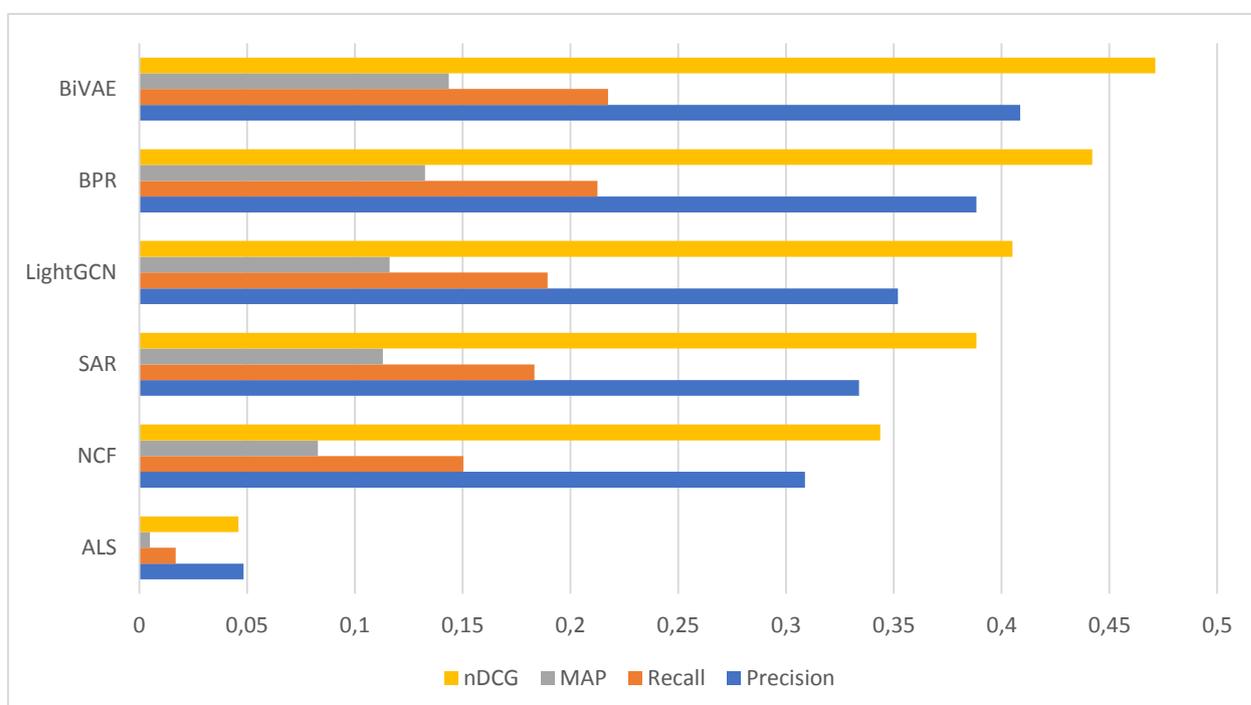


Рис. Качество ранжирования

**Заключение.** Исследование показало, что алгоритм SAR хорошо подходит для первоначальной выборки результатов, так как обеспечивает

хорошие показатели качества и скорости. Алгоритм BPR хорошо подходит для финальной стадии рекомендаций, потому что он является вторым по точности предсказаний, а время обучения модели и время получения результата рекомендаций для него намного меньше, чем у лидера по качеству BiVAE.

### Список литературы

1. Фальк К., Рекомендательные системы на практике, ДМК Пресс – Москва, 2020. – 448 с.
2. Прокачиваем интернет-магазин товарными рекомендациями [Электронный ресурс]. – URL: <https://wiont.ru/blog/internet-magazin-tovarnye-rekomendatsii.html> (дата обращения: 21.12.20).
3. Курс «Прикладные задачи анализа данных» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.coursera.org/lecture/data-analysis-applications/podkhody-k-postroeniuiu-riekomiendatiel-nykh-sistiem-XjnUQ> (дата обращения: 23.12.20).
4. Анатомия рекомендательных систем. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/lanit/blog/420499/> (дата обращения: 21.12.20).
5. Microsoft recommenders [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/microsoft/recommenders> (дата обращения: 05.07.21).
6. Experimental results for some example datasets. [Электронный ресурс]. – URL: <http://mymedialite.net/examples/datasets.html> (дата обращения: 31.08.21).

УДК 004.9:378.4

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ СЕМЕСТРОВЫХ СПИСКОВ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН БАКАЛАВРИАТА НА ОСНОВЕ УЧЕБНОГО ПЛАНА НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ

*Котенко В.Н., Гладкова К.Н.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kotenko1967@gmail.com*

**Введение.** В наши дни всё больше возрастает спрос на высшее образование. С развитием и усложнением существующих технологий растёт потребность в высококлассных специалистах, владеющих основательной теоретической базой и способных легко осваивать современные технические новшества и внедрять их в своей профессиональной деятельности.

Согласно статистике [1] в 2018 году в России насчитывалась 741 организация высшего образования, обучающая по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры, по которым обучалось 4161,7 тысячи человек. В среднем, в каждом вузе около 10 факультетов и 50 кафедр. Всего профессорско-преподавательский состав на 2018/2019 учебный год насчитывал 236,1 тысячу человек.

По этой причине система высшего образования остаётся востребованной и находится в состоянии непрерывного развития, расширения учебных программ, составления и реализации новых программ, создания новых актуальных направлений подготовки.

В образовательном процессе главным ориентиром для обучения по определённому направлению подготовки является учебный план, который содержит список дисциплин, виды контроля по ним, количество часов и зачётных единиц, распределение по семестрам. На основе учебного плана в каждом конкретном семестре для каждой конкретной группы разрабатывается расписание, учитывающее необходимые дисциплины и количество часов, отведённых на них. При этом зачастую извлечение списка дисциплин из учебного плана для дальнейшего составления расписания осуществляется вручную, что понижает эффективность работы деканата. Ответственность задачи составления списков определяется влиянием результатов её решения на качество и эффективность обучения.

Для эффективного осуществления образовательного процесса необходимо создание системы, позволяющей автоматизировать составление списка семестровых дисциплин, исходя из учебного плана для данного направления подготовки, и импортировать списки дисциплин по направлениям подготовки в базу для дальнейшего составления расписания учебных групп, осуществляющих обучение по направлению подготовки.

**Актуальность.** Чёткая организация учебного процесса в высшем учебном заведении как гарант подготовки высококвалифицированных специалистов, может быть достигнута только при качественном его планировании. Одной из самых ответственных, трудоёмких и сложных задач планирования учебного процесса является составление семестровых расписаний учебных занятий. И хотя на рынке представлен широкий спектр программных продуктов для составления расписания, большинство из них перед началом работы требует долгой и кропотливой ручной работы по заполнению справочников. В расписании занятий закладываются организационные основы реализации учебных планов и программ. Качественно разработанное, методически обоснованное расписание занятий определяет нормальный ход всего учебного процесса, правильную организацию работы в университете.

**Целью** данного исследования является разработка автоматизированной системы, позволяющей вести базу данных с информацией об учебных планах и семестровых списках дисциплин.

Для достижения поставленной цели проведен ряд исследований по изучению процесса составления расписаний, генерации списков дисциплин по направлениям подготовки согласно учебному плану, исследованы принципы реализации структуры учебных планов.

**Результат.** В ходе решения задачи спроектирована система, которая позволяет хранить данные о пользователях, направлениях подготовки,

дисциплинах, типах семестрового контроля и данных из учебного плана; спроектирован локальный сервер для работы с базой данных. Система позволяет пользователю: просматривать учебные планы по направлениям подготовки, получать списки дисциплин выбранного направления, читаемых в конкретном семестре учебного года, списки академической разницы при переходе с одного направления на другое и копировать или экспортировать их в электронные таблицы Excel. Пользователи приложения с уровнем доступа «Методист» могут изменять данные таблиц базы данных (кроме таблиц, связанных с пользователями и их правами доступа) и импортировать в систему учебные планы. Главными операциями системы являются импорт учебных планов и получение из них списков дисциплин указанного семестра указанного года обучения.

Система позволяет методистам кафедр и деканата повысить эффективность составления расписания, а студентам, – получать информацию из учебного плана о дисциплинах текущего семестра и видах контроля по ним.

Информационная система реализована с использованием возможностей среды разработки PyCharm и языка программирования Python, а также СУБД MySQL, позволяющей хранить множество структурированных связанных данных и обеспечивающей удобный доступ к любым выборкам с помощью структурированного языка запросов SQL.

Пользователями автоматизированной системы являются методисты, ответственные за учебную работу на кафедре и в деканате, преподаватели кафедры, а также студенты, которым предоставляется возможность доступа из любой точки мира при условии использования любого электронного устройства, имеющего интернет-подключение и браузер.

Страница со списком дисциплин, которые изучаются на конкретном направлении в выбранном семестре за все годы, показана на рис.

The screenshot shows a web application interface with a dark blue header containing the text 'exam lists' and navigation links: 'дисциплины', 'академ. разница', 'импортировать', 'редактировать', and 'выход'. Below the header, there is a section titled 'Семестровый список дисциплин'. It includes three dropdown menus: 'Специальность:' (empty), 'Семестр:' (set to 'Осень'), and 'Начало учебного года:' (set to '2020'). A 'Загрузить' button is located to the right of these filters. Below the filters, the text 'Физико-технический ИВТ-2018 : 2020-2021 уч.год весенний семестр' is displayed, along with a 'КОПИРОВАТЬ' button. The main content is a table with the following structure:

ДИСЦИПЛИНА	ЧАСОВ ЛЕКЦИЙ	ЧАСОВ ПРАКТИКИ	ЧАСОВ ЛАБОРАТОРНЫХ	КОНТРОЛЬ
Курс 1, групп 0				
Иностранный язык	0	0	3	Экзамен
Математика	3	3	0	Экзамен
Физика	2	0	2	Экзамен
Информатика и информационно-коммуникационные технологии	2	0	2	Зачёт
Дискретная математика	1	2	0	Экзамен
Русский язык и культура речи	1	2	0	Экзамен

Рис. Страница со списком дисциплин выбранного семестра для направления

В ходе выполнения данного проекта, разработанная система была протестирована на данных учебных планов кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

В **заключении** следует подчеркнуть, что предложенная технология с использованием современных информационных инструментариев позволяет методистам эффективно импортировать учебные планы в базу данных и создавать списки учебных дисциплин выбранного направления подготовки на конкретный семестр и списки академической разницы.

### **Список литературы**

1. Бондаренко Н. В. Образование в цифрах: 2019: краткий статистический сборник / Н. В. Бондаренко, Л. М. Гохберг, Н. В. Ковалева и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2019. – 96 с.

УДК 004.9:004.65-049.34

## **ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ИГРАХ В ЖАНРЕ ROLE-PLAYING GAME**

***Котенко В.Н., Елусеев В.О.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kotenko1967@gmail.com*

**Введение.** В настоящее время игры в жанре Role-Playing Game (RPG) занимают довольно широкую нишу в игровой индустрии [1]. В мире их насчитывается более тысячи: от культовых Massively multiplayer online role-playing game (MMORPG), таких как World of Warcraft, Guild Wars и одиночных RPG, ставших хитами (The Elder Scrolls V: Skyrim, Dark Souls), до простых инди-игр наподобие ферм, бродилок с RPG-контентом и т.п.

Все эти игры объединяет необходимость хранения данных: будь то крупная MMORPG с серверными хранилищами данных или одиночная RPG с хранилищем данных, находящимся непосредственно на пользовательском персональном компьютере. Вопросами хранения данных в играх такого рода нельзя пренебрегать, ведь нарушения в системе баз данных могут привести к непоправимым последствиям. Особенно они чувствительны в MMORPG-играх.

При выборе способа хранения данных в игре необходимо учитывать следующие аспекты: производительность; расширяемость; удобство редактирования множества объектов одновременно; налаженную связь с клиентской частью, позволяющую быстро и удобно отображать значительные изменения в базе данных.

На текущий момент большинство RPG-игр предпочитают хранить данные либо в объектно-реляционных СУБД (World of Warcraft использует

Oracle DB, Free Realms использует PostgreSQL), либо в комбинации SQL и NoSQL решений (разработчики Skyforge и Allods Online хранили данные игр с помощью реляционных таблиц, данные в которых в большей степени были JSON-файлами с помощью СУБД PostgreSQL и MySQL соответственно), либо с помощью чисто NoSQL решений (FarmVille и другие). Существуют также решения, в которых используется MSSQL Server, где основные данные хранятся в виде двоичных данных в ячейках типа BLOB, что приближает способ к тому, который был описан выше (отличие заключается в использовании бинарной сериализации вместо JSON). Сейчас тенденция хранения данных вновь в большей степени склоняется к NoSQL базам данных, и даже, если разработчики пытаются написать собственную базу данных, удовлетворяющую требованиям их игры, – в итоге в большинстве случаев получаются решения близкие к NoSQL-подходам (иерархическая структура предметной области с множеством файлов, хранящих информацию об экземплярах различных сущностей предметной области игры).

В данной работе будет рассмотрен метод выделения абстракций из сущностей игры, что позволит хранить данные с помощью чисто реляционных СУБД. Конкретно предлагается решить задачу хранения разных типов игровых предметов с различными наборами атрибутов в рамках реляционной базы данных с помощью СУБД MySQL.

**Актуальность** использования метода выделения абстракций заключается в том, что мы избегаем необходимости хранить уникальные атрибуты предметов в JSON-файлах либо каких-нибудь других форматах, не позволяющих использовать преимущества реляционных баз данных над NoSQL базами данных, необходимых в контексте игрового процесса в RPG-играх, а именно:

- 1) возможность быстрого редактирования множества записей;
- 2) независимость от СУБД, простота перехода между ними;
- 3) высокая скорость выполнения сложных запросов;
- 4) высокая производительность при хранении большого числа записей.

**Целью** настоящего исследования является разработка метода, который позволит создавать такие схемы данных, которые дадут возможность разработчикам RPG-игр пользоваться вышеперечисленными преимуществами реляционных баз данных над NoSQL базами и будут функционально идентичны методам, используемым в большинстве RPG-игр.

Для достижения поставленной цели была разработана игра в жанре RPG, исследована ее предметная область, вследствие чего данный метод был применен к хранению игровых предметов в базе данных, – узкому месту проектирования большинства RPG-игр.

**Результат.** Спроектированная в ходе исследования схема данных для игры в жанре RPG свидетельствует о том, что метод выделения

абстракций из сущностей игры действительно жизнеспособен, так как получившаяся схема данных для игровых предметов действительно позволяет пользоваться преимуществами реляционных баз данных над нереляционными без потерь в производительности и удобстве коммуникации с клиентским приложением.

В разработанном игровом приложении в жанре RPG были представлены следующие типы предметов: квестовые (questitem), добываемые предметы (lootitem), классические игровые карточки (classicalcard), золотые игровые карточки (goldcard), игровые карточки-перевертыши (flippablecard), системные игровые карточки (systemcard). Все эти предметы имеют различные наборы атрибутов, либо различные типы одинаковых атрибутов, поэтому хранение их в одной таблице реляционной базы данных невозможно. Здесь и приходит на помощь метод выделения абстракций из сущностей. Выделяются общие атрибуты, характерные для всех предметов, после чего на основе их формируется таблица item. Далее создаются таблицы под каждый тип предметов, в которых хранятся уникальные атрибуты, характерные для каждого типа, и связываются с «абстрактной» таблицей item посредством связи «один к одному». В схему данных включена таблица itemtype, позволяющая быстро редактировать множество записей. Схема данных игровых предметов изображена на рис. 1.

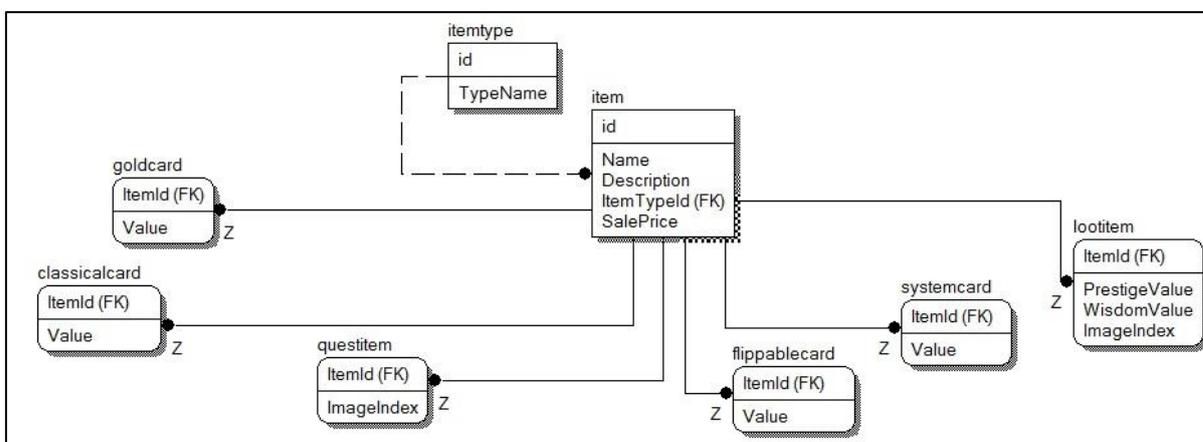


Рис. 1. Схема данных игровых предметов

Игра в жанре RPG была реализована с использованием современных программных средств из области Game Development: языка программирования C#, игрового движка Unity3D, системы управления базами данных MySQL и программами для работы с ней – phpMyAdmin и HeidiSQL.

После применения метода выделения абстракций и решения проблемы проектирования системы хранения предметов, дальнейшее проектирование базы данных приложения не составляет труда. Схему данных всей игры можно увидеть на рис. 2.

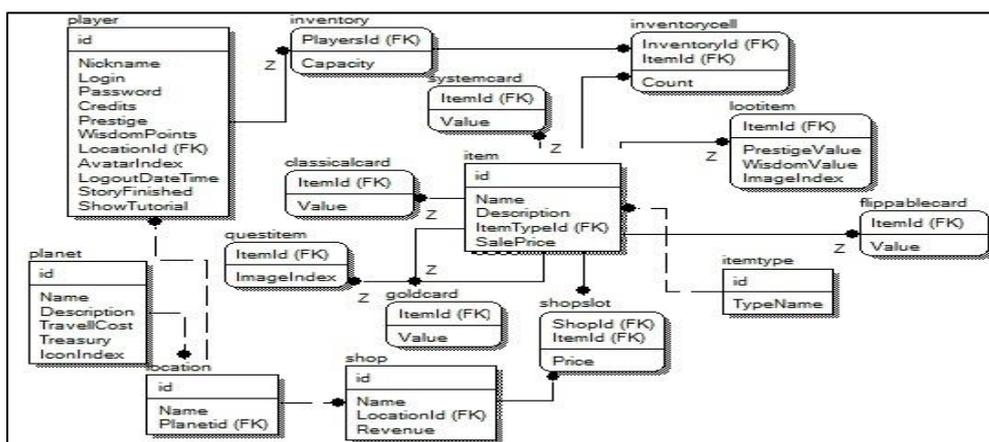


Рис. 2. Схема данных разработанного игрового приложения в жанре RPG

В заключении стоит отметить, что предложенный метод характеризуется удобством поддержки большого количества данных, позволяет быстро выполнять многочисленные операции и использовать другие преимущества реляционных баз данных. Метод также приближен к объектно-ориентированному программированию, – ведущей парадигме современной Game Development.

### Список литературы

1. Role Playing Game. Текст: электронный // Независимый игровой портал igrasan. – 2021. – URL: <https://igrasan.ru/chto-takoe-rpg/> (дата обращения: 30.09.2021).

УДК 004.45

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАЧ И ЦЕЛЕЙ

*Котенко В.Н., Ермоленко Е.С.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kotenko1967@gmail.com*

**Введение.** Командная разработка – это ни что иное, как написание программного продукта не в одиночку, а работая в команде [1]. При работе в команде необходимо четко обозначить список задач, выполнение которых и будет означать выполнение проекта. Задачи не должны пересекаться друг с другом и иметь минимум зависимостей друг от друга. Если этого не учесть, – то одну и ту же задачу сделают сразу несколько сотрудников, и каждый сделает её по-своему: это, как минимум, приведёт к конфликту и зря потраченному времени, как максимум, – к необходимости переделки других частей продукта, так как они могут быть связаны с текущей задачей. Чтобы избежать хаоса при решении задач необходимо централизовать и систематизировать управление ими.

Если провести аналогию, то командная разработка похожа на строительство, где каждый участник знает свою роль и понимает, что он должен ожидать от других участников проекта. Каждый занимается своим делом, и в итоге все получают один общий результат.

В рабочей группе предусматривается распределение обязанностей руководителя между членами коллектива. При этом за проект отвечает не один человек, а все члены группы, – каждый за свой функциональный модуль. При разработке программного обеспечения выполняемые задачи распределяются по семи ролевым группам и шести ролям. Участники команды, выполняющие конкретную роль, должны рассматривать проект с точки зрения своей специализации и обладать необходимой квалификацией. Каждая ролевая группа выполняет свои задачи.

Для успешной разработки программного обеспечения недостаточно просто распределить среди участников проектной команды роли и обязанности. Необходимо, чтобы все участники команды четко понимали и выполняли установленные задачи при разработке.

**Актуальность.** На современном рынке услуг программное обеспечение (ПО) является одним из самых востребованных товаров. Его разработкой занимаются миллиарды людей, работающих как в огромных IT-компаниях, так и в небольших фирмах, реализующих динамические проекты. Разработкой занимаются люди с разными уровнями профессионализма, таланта и желания, но, тем не менее, можно сказать, что IT-сфера развивается в геометрической прогрессии. Появляются новые усовершенствованные модели технического и программного обеспечения, растет быстрыми темпами сложность программ, а рост сложности технического оборудования опережает этот рост в несколько раз.

Нередко людям кажется, что, если они являются добротными профессионалами, то в состоянии выполнить любое задание. Но на практике оказывается, что они не в силах справиться с глобальными, обширными задачами. Именно поэтому разработчики объединяются в команды. Командная разработка позволяет разрабатывать качественное, конкурентоспособное программное обеспечение. На данный момент, почти все компании практикуют разработку именно в команде, где каждый работник занимает свое место и выполняет свои специфические задачи, специалистом в вопросах, которых он является. На эту тему разработано большое количество методик, программ и систем, которые если не упрощают, то помогают в командной работе.

Исследование систем, используемых для разработки программных средств, свидетельствует о том, что актуальность данного типа систем возрастает, и используя их, компания получает не только более систематизированную структуру работы, но и уменьшает затраты на разработку продукта, исключив ошибки и повысив эффективность своей работы.

**Целью** данного исследования является создание web-приложения для организации деятельности команды при разработке IT-проектов.

Для достижения данной цели был проведен анализ реализованных систем, выделены их положительные стороны и определены проблемные места. На основе аналитических данных был сформирован перечень ключевых факторов, которые необходимо учесть при разработке новой системы планирования задач и целей для достижения наиболее удачного сочетания функциональности и простоты использования.

**Результат.** Разработанная система предназначена для большого количества пользователей, которая позволяет создавать, редактировать, удалять проекты, цели и формировать команды для каждой из них. Каждая цель имеет несколько задач, а задачи в свою очередь подзадачи и вложения. Вложения включают в себя файл и комментарий к нему. Предусмотрен вывод статистики по задачам с возможностью выбора периода, также вывод эффективности пользователя на основе статистики. Пользователь может создавать проекты, то есть быть их руководителем, а также может быть в роли участника проекта. При установке задач, пользователи разделяются на команды по целям. Пользователям должна предоставляться возможность изменения цветовой темы приложения в настройках системы.

Система реализована с использованием современных программных средств: языка PHP, системы управления базами данных MySQL, языка программирования JavaScript, технологий Ajax и JQuery.

Пользователями системы являются сотрудники какой-либо компании ответственные за распределение задач между другими сотрудниками, им предоставляется возможность доступа из любой точки мира при условии использования ноутбука или настольного персонального компьютера, имеющего интернет-подключение и браузер.

Страница с отображением списка текущих задач пользователя представлена на рис.

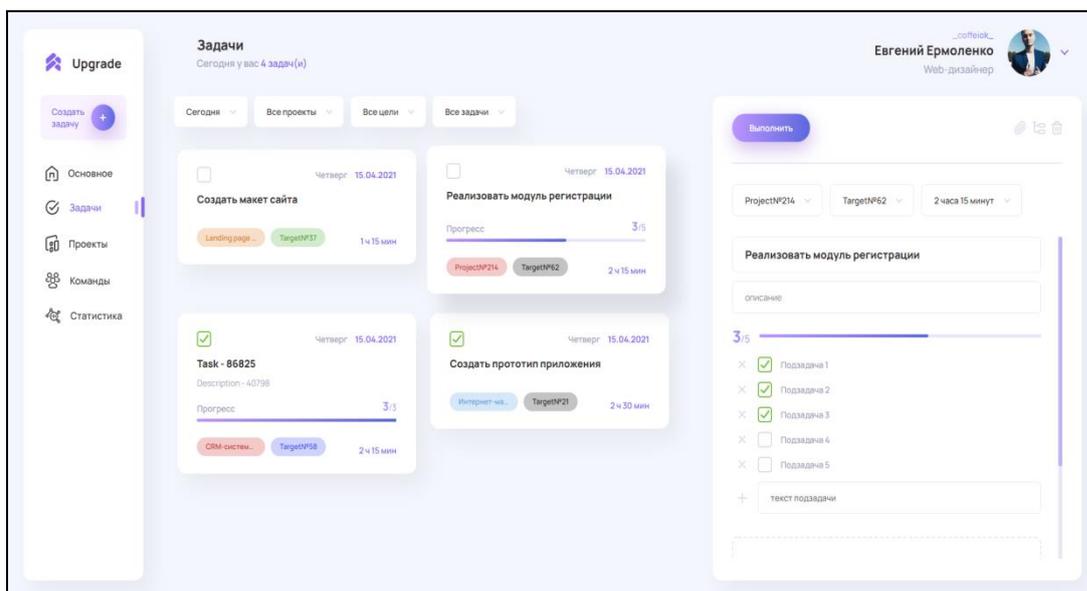


Рис. Страница с отображением списка текущих задач пользователя

В результате работы было реализовано приложение, которое позволяет систематизировать задачи каждого из участников проекта. Приложение позволяет также контролировать процесс разработки любого проекта путем анализа статистики и является отличным помощником в автоматизации работы группы разработчиков.

В **заключении** следует подчеркнуть, что использование предложенной системы позволяет сотрудникам оперировать данными в наиболее удобном виде, затрачивая минимальное количество ресурсов, предоставляет наиболее эффективное решение для структурирования задач и целей. Система использует принцип декомпозиции, разделяя крупную задачу на более мелкие, добиваясь тем самым упрощения разработки большого проекта. Сотрудник, в свою очередь, выполнит только те задачи, которые соответствуют его специализации.

#### Список литературы

1. Командная разработка. Текст: электронный // Сайт PHP-INCLUDE.RU. – 2021. – URL: <https://php-include.ru/stati/komandnaya-gazrabotka> (дата обращения: 30.09.2021).

УДК 665.26:004.9

## РАЗРАБОТКА REST API ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

*Коленко Ю.В., Горбатенкова А.И.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*blackwildpanther@gmail.com, packsoonhy@gmail.com*

**Введение.** Несмотря на повсеместное распространение интернета, полиграфический бизнес продолжает оставаться одним из самых сложных с точки зрения конкуренции. Скорость современной жизни и множество новых тенденций диктуют свои условия. В связи с этим приходится отказываться от толстых прайсов и переходить на новый уровень, – создавать и размещать в сети качественные сайты, которые привлекут внимание не только своим внешним видом, но и функционалом.

Нагрузка на любой ресурс, и тем более коммерческий, огромна. Менеджерам в такой обстановке необходимо принимать мгновенные решения и успевать отвечать на множество поступивших заявок, многие из которых не несут дальнейшей перспективы. В этом потоке информации, довольно часто, теряются действительно важные клиенты. Компонентом, который может решить данную проблему, является чат-бот.

Чат-бот в данном случае выступает неким помощником, который общается с пользователями посредством сообщений и обладает множеством специфичных функций. Его можно использовать как для рассылки

информации, так и для ее сбора. На сегодняшний день мессенджеры пользуются большим спросом, – это связано с изменением в области мобильного интернета: высокие скорости, низкая цена и широкое распространение смартфонов. Прогрессивность мессенджеров можно сравнить с явлением десятилетней давности – взрывом социальных медиа. Уже сейчас приложения для обмена сообщениями пользуются 2 миллиарда человек, и, если верить прогнозам, к концу 2021 года число пользователей увеличится до 2,48 миллиардов. Изначально Telegram пользовался популярностью преимущественно у людей интеллектуальных профессий. Широкая публика уже успела распробовать WhatsApp и Viber, а новинка, у которой не было русскоязычной версии, оставалась на долю IT-специалистов зарубежных стран – в основном развивающихся государств, Италии, Испании и Бразилии. Artificial intelligence (AI) используется в основном для сокращения издержек и повышения качества услуг. Наиболее популярными направлениями являются распознавание голоса и текстовое общение при помощи ботов. В качестве примера последнего можно привести знаменитые всплывающие окошки «консультантов» на многих сайтах. Конечно, качество таких консультаций оставляет желать лучшего, однако тенденция налицо и от неё не собираются отказываться. Примером автоматизации можно назвать огромное количество ботов для приема заявок на доставку еды, заказа столиков в ресторанах, рассылки рекламы и многое другое. Добавление такого бота позволяет клиентам мгновенно получать основную информацию. Отсутствие необходимости ожидания ответа менеджера в течении несколько часов, а порой и дней, в разы повышает количество успешных заказов.

Последнее обстоятельство объясняет **актуальность** данной работы.

**Целью** настоящего исследования является проектирование и разработка REST API [1], определение функций полиграфической компании, которые нуждаются в процессе автоматизации, проектировании базы данных, содержащей сведения о работе компании и продукции, используемой и производимой в результате деятельности этой полиграфической компании, а также создании информационной системы для администратора, консультантов и клиентов.

**Результат.** В результате написания работы был разработан сервис для организации работы полиграфической компании посредством REST API, который позволяет пользователю получить исчерпывающую информацию об услугах компании, все сведения о товарах, которые есть в наличии, т.е. узнать цвет, размер, цену, отзывы об имеющейся продукции. Страница с полной информацией о товаре представлено на рис. 1.

Также пользователь может оформить свой заказ не только через сайт, но и с помощью телеграмм-бота, где помимо заказа товара, который есть в наличии, реализована возможность сделать заказ на производство товара с уникальным дизайном, выбрав для себя идеальный материал, требуемый

способ обработки, а также указать количество дней, в течении которых необходимо этот заказ выполнить. Окно заказа товара через телеграмм-бот представлено на рис. 2.

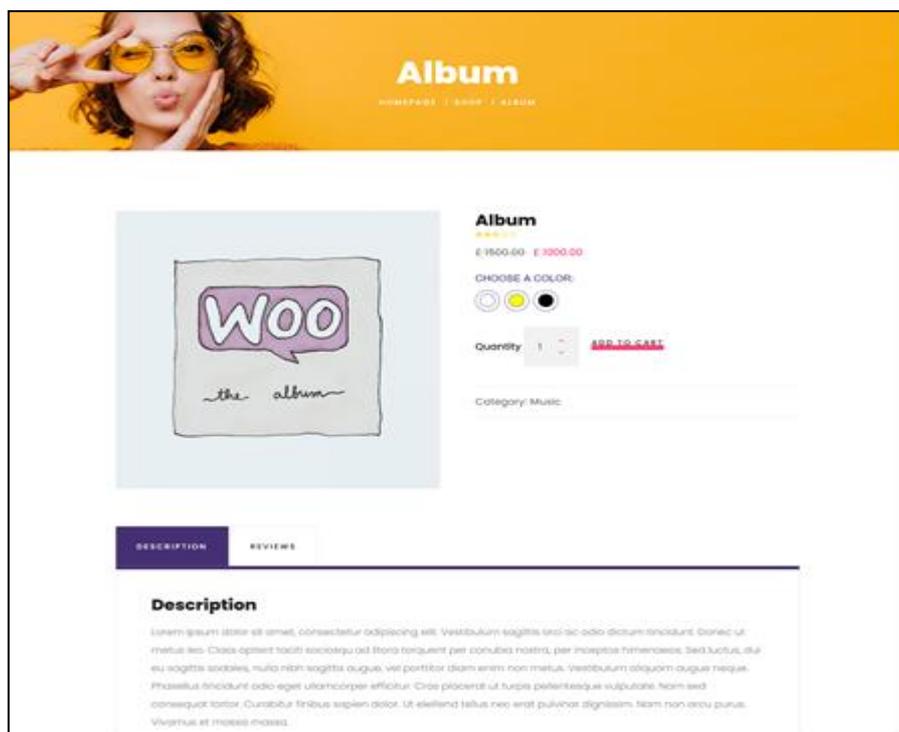


Рис. 1. Страница с полной информацией о товаре полиграфической компании

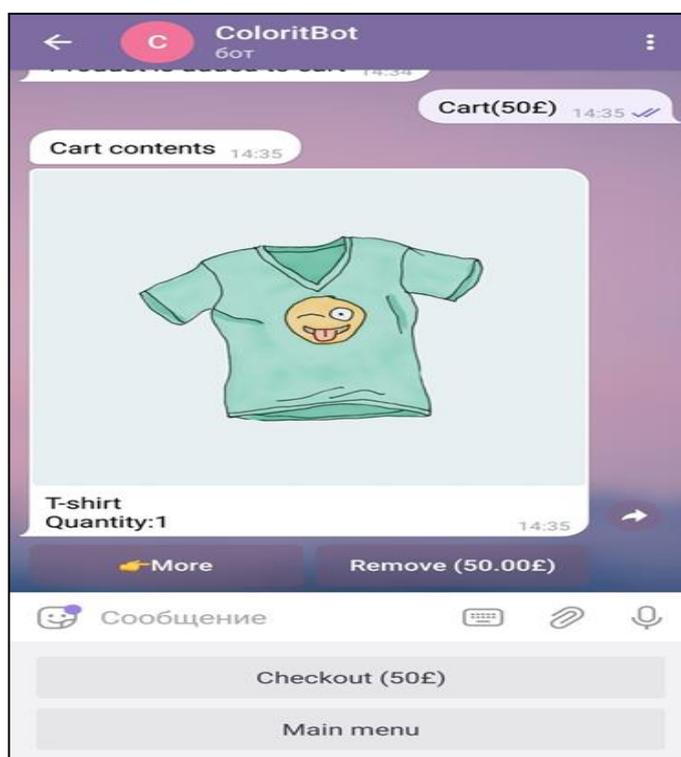


Рис. 2. Окно заказа товара

В **заключении** стоит отметить, что в процессе работы был проведен сравнительный анализ существующих сервисов по организации работы полиграфических компаний, выявлены их особенности и недостатки.

Были рассмотрены основные технологии, используемые для организации работы полиграфической компании посредством REST API, что позволило принять решение об использовании наиболее подходящей технологии для реализации задачи.

Разработаны новые бизнес-процессы компании, а также описано влияние этой системы на дальнейшее развитие компании.

Как итог, – реализован REST API для организации работы полиграфической компании.

### Список литературы

1. О REST API простыми словами. Текст: электронный // Сайт Smart Office. – 2021. – URL: <https://smoff.ru/howitworks/rest-api-prostymi-slovami> (дата обращения: 30.09.2021).

УДК 004.9:331.105.44:378.4

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ КЛУБА ЗНАКОМСТВ

*Котенко Ю.В., Криворучко К.А.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк  
*blackwildpanther@gmail.com, alisakovalllll@gmail.com*

**Введение.** Современные тенденции развития общества таковы, что в большинстве своем человек лишен возможности тратить большое количество времени на поиски спутника жизни, в связи с чем вынужден обращаться за помощью в службы для поиска знакомств [1].

Информационная функциональная деятельность клуба знакомств:

1) основополагающей задачей клуба знакомств является предоставление своей клиентской базе всей необходимой информации о подходящих кандидатурах для создания серьезных отношений, семьи или восполнения дефицита коммуникативного взаимодействия;

2) полная информация о клиенте в виде анкетных данных, передаваемая клиентом консультанту, поступает в базу данных клуба знакомств. Данная информация содержит в себе непосредственно информацию о самом клиенте, его фотографии, а также описание необходимых требований к партнеру. Данную информацию консультант клуба знакомств заносит в базу для последующего комплексного анализа и качественного подбора кандидатур;

3) посредством автоматизированной системы клуба составляется список подходящих кандидатур, и после согласия потенциальных

партнеров на знакомство консультант назначает двум клиентам встречу, информация о которой также заносится в базу данных;

4) администратор клуба знакомств должен вести учет клиентов и консультантов, а также получать доступ к статистической информации для осуществления контроля над деятельностью клуба.

Исследование существующих программных продуктов для автоматизации работы клуба знакомств показывает, что:

1) автоматизированные системы лишены возможности определить список подходящих кандидатур автоматически, – средствами программы;

2) основная часть имеющихся информационных систем клубов знакомств не располагает полными анкетными данными о клиентах, что чрезвычайно важно в деле подбора подходящего партнера;

3) большинство приложений для автоматизации клуба знакомств не учитывает совместимость клиентов по гороскопу, что является крайне важным для многих пользователей.

Таким образом, на данный момент рынок не может предоставить клубам знакомств доступного, удобного в эксплуатации и отвечающего всем требованиям программного обеспечения.

Использование инновационных информационных технологий позволит администратору и консультантам клуба знакомств максимально продуктивно вести учет клиентов, автоматически составлять пары для клиентов и вести мониторинг деятельности клуба.

**Актуальность** автоматизации обусловлена несколькими факторами. Во-первых, количество клубов знакомств и брачных агентств возрастает, в то время как рынок не располагает подходящими программными продуктами. Во-вторых, для уменьшения затрат клуба знакомств целесообразно разработать программу информационной системы клуба, которая помимо автоматизации учета сотрудников и клиентов, значительно ускорит процесс подбора кандидатов и ликвидирует необходимость в найме астролога, так как его роль исполнит программа. В-третьих, использование процесса автоматизации работы клуба знакомств позволяет ускорить и облегчить работу консультантов при обработке информации о клиентах.

**Целью** настоящего исследования является определение функций клуба знакомств, которые нуждаются в процессе автоматизации, проектировании базы данных, используемых и производимых в результате деятельности клуба, и создании информационной системы для администратора, консультантов и клиентов.

**Результат.** В результате работы спроектировано приложение информационной системы клуба знакомств под Windows, которое позволяет автоматизировать деятельность клуба и упростить хранение и обработку личных данных клиентов в процессе этой деятельности.

Разработано программное обеспечение, которое предоставляет пользователю возможность в структурированном виде извлекать или

удалять хранимую информацию, добавлять актуальные данные, получать статистические данные, модифицировать имеющуюся информацию, выводить ее в печать и совершать действия, необходимые для непосредственной работы клуба знакомств (осуществлять подбор клиентам подходящей пары и осуществлять контроль над рабочей деятельностью сотрудников организации).

Приложение осуществляет сбор, обработку, хранение, редактирование и извлечение упорядоченной определенной информацией, логирование, автоматический подбор для любого клиента списка подходящих кандидатур.

Для обеспечения эффективности рабочего процесса и достижения качественного результата деятельности консультанта, система разработана таким образом, чтобы упростить процесс заполнения данных о клиентах. Окно добавления нового клиента приведено на рис.

The screenshot shows a window titled "AddClient" with a light blue background. The form is divided into several sections:

- Personal Information:** Имя, Фамилия, Отчество, Дата рождения (12 апреля 2021 г.), Номер телефона, Зарплатная плата, Паспортные данные, Адрес проживания, Уровень мат. положения, Жилищные условия.
- Education and Work:** Образование, Место работы, Должность.
- Physical Characteristics:** Рост(см), Вес, Желаемый партнер (Рост(см), Вес, Возраст), Телосложение, Образование, Наличие детей, Жилищные условия, Место проживания детей, Место проживания, Религия, Национальность.
- Character and Interests:** Отношение к вредным привычкам, Черты характера, Интересы или хобби, Жизненные приоритеты, Жизненные ценности.
- Religion and Nationality:** Религия, Национальность.
- Other:** Цвет глаз, Цвет волос, Телосложение, Наличие детей, Наличие машины, Место проживания детей, Период получения услуг агентства, Сост. ли на учете в диспансере, Судимости, Желание заводить детей в браке.

A "Сохранить" button with a green plus icon is located at the bottom right of the form area.

Рис. Окно добавления нового клиента

Функционал приложения информационной системы клуба знакомств позволяет администраторам этого клуба осуществлять контроль над рабочей деятельностью консультантов, удалять или добавлять нового сотрудника, выводить информацию о сотрудниках и клиентах в печать и просматривать статистическую информацию о деятельности клуба, а также консультантам вести учет своей рабочей деятельности, удалять, редактировать или добавлять нового клиента, выводить информацию на печать, подбирать пары каждому клиенту и назначать им свидания.

Отличительной чертой автоматизированной системы является возможность для консультантов автоматически получать списки подходящих кандидатов для каждого клиента, при этом средствами

программного обеспечения производится полный анализ данных каждого клиента и его предпочтений. В результате исключается необходимость вручную проверять соответствие данных клиентов и их желаемых партнеров, что в значительной степени упрощает работу консультанту клуба и сокращает время, затрачиваемое на обслуживание клиента, при этом полученные результаты обладают максимальной точностью.

В **заключении** стоит отметить, что в процессе работы была разработана автоматизированная система клуба знакомств, отвечающая всем интерфейсным и функциональным требованиям для комфортной работы организации.

### Список литературы

1. Клуб знакомств – отличная идея для бизнеса. Текст: электронный // Сайт «Управление персоналом». – 2021. – URL: <http://hr-ru.com/2013/01/klub-znakomstv-otlichnaya-ideya-dlya-biznesa/> (дата обращения: 30.09.2021).

УДК 687.016:004-9(477.62)

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛЬНЫМ АГЕНТСТВОМ ГОРОДА ДОНЕЦКА ПОСРЕДСТВОМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО TELEGRAM-БОТА

***Котенко Ю.В., Митяева В.В.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*blackwildpanther@gmail.com, vimit00@mail.ru*

**Введение.** Настоящая работа посвящена исследованию проблем работы модельного агентства в Донецком регионе – LotusModelAgency, которое предоставляет услуги обучения и менеджмента моделей обоих полов всех возрастов, и автоматизации этих процессов с использованием современных web-технологий.

**Актуальность.** Анализ предметной области показал, что существует множество telegram-ботов и систем управления для модельных агентств, однако многие из них созданы по стандартному шаблону, имеют минимум функций и, в большинстве своем, являются лишь неким придатком, например, к веб-сайту агентства. Некоторые из них используются в рекламных целях и не являются полноценными системами управления для взаимодействия с клиентом, а лишь сообщают базовую информацию, после чего перенаправляют клиента на сайт или сообщают ему телефон для уточнения информации.

Проведя сравнительный анализ систем управления для рекламных агентств, выявлено, что отсутствуют готовые решения, которые можно было бы сразу применить для автоматизации работы с заполнением анкеты и получения информации [1].

Для решения подобных задач потребовалась разработка новых бизнес-процессов, позволяющих в полной мере оптимизировать процесс внесения и отображения информации о модельном агентстве, а также возможность заполнения анкет.

Пользовательский интерфейс обладает своими особенностями. Поскольку меню модельного агентства имеет тенденцию к расширению, оно не только предусматривает вывод каналов по категориям, но и генерацию меню каналов, которое основывается на содержании базы данных, что было бы невозможно при использовании стандартного меню.

Стоит отметить, что использование системы управления позволяет привлечь более широкий круг пользователей, улучшить условия труда персонала модельного агентства и существенно повысить производительность работы с заказами курсов и заполнения анкет клиентами.

**Целью** работы является разработка системы управления модельным агентством города Донецка, посредством специализированного telegram-бота.

Для достижения данной цели решались следующие **задачи**:

- 1) анализ предметной области и подготовка технического задания для автоматизации работы объекта исследований;
- 2) разработка новых бизнес-процессов для объекта исследований;
- 3) проектирование системы: UI (UserInterface) для браузера, проектирование BLL (BusinessLogicLevel) для взаимодействия со структурой ресурса и проектирование DAL (DataAccessLevel) с доступом к данным в MYSQL;
- 4) программирование системы управления модельным агентством г. Донецка;
- 5) тестирование системы.

Примеры функциональных возможностей:

Для примера приведём возможность просмотра аренды помещений и оборудования, предоставляемых агентством. По выбору пункта меню «Аренда помещений\оборудования», отображается зал, который можно взять в аренду, а также информация о нем, цена и возможность добавления в корзину (рис. 1.).

В качестве ещё одного примера приведём возможность просмотра и записи на фотопроjekt. По выбору соответствующего пункта меню пользователю будет доступна информация о предлагаемых агентством проектах, ценах, а также предоставлена возможность записи на любой из указанных проектов (рис. 2.).

**Результат.** В ходе выполнения поставленной задачи был проведен сравнительный анализ систем управления модельными агентствами, выявлены их особенности, достоинства и недостатки. Были рассмотрены основные технологии, используемые для разработки систем управления посредством специализированного telegram-бота, что позволило принять решение об использовании наиболее подходящей технологии для написания программного продукта.



Рис. 1. Аренда помещений и оборудования



Рис. 2. Запись на фотопроект

Для решения задачи была разработана система управления модельным агентством посредством специализированного telegram-бота, который позволяет предоставлять пользователю исчерпывающую информацию о:

- 1) моделях (ФИО, номер телефона, рост, возраст, город, пол и др.);
- 2) курсах и количествах занятий, их длительности, цене;
- 3) помещениях и оборудовании для аренды;
- 4) фирменной продукции;
- 5) фотопроектах и местах их проведения;
- 6) организаторах, фотографах, преподавателях;
- 7) детских курсах, танцевальных курсах, фитнес курсах,
- 8) детском лагере.

Была реализована возможность поиска моделей по основным критериям через бот (рис. 3).

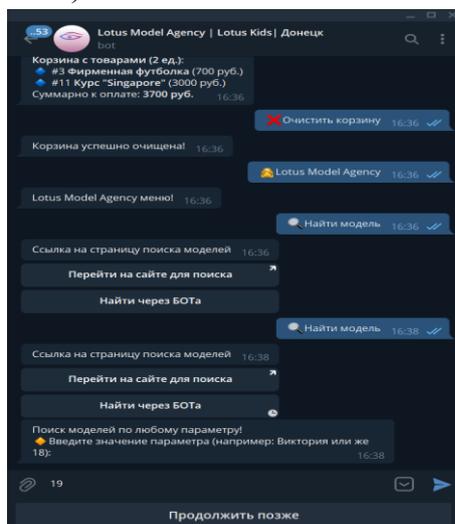


Рис. 3. Поиск модели через бот

В заключении стоит отметить, что результатом работы является система управления модельным агентством, отвечающая всем интерфейсным и функциональным требованиям для комфортного использования клиентами агентства.

#### Список литературы

1. Как действуют модельные агентства. Текст: электронный // Сайт о моде. – 2021. – URL: <https://moda.ru/article/kak-dejstvuyut-modelnye-agentstva/>(дата обращения: 25.09.2021)

УДК 004.67

### ФЛУОРИМЕТР ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦ

*Кузнецов Д.Н.<sup>1</sup>*, канд. техн. наук, доц., *Карповский А.Ю.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова», г. Донецк, ДНР

*kuzen2000@rambler.ru*

**Введение.** В настоящее время общепризнанным эффективным методом оперативного контроля состояния растений является флуориметрический метод оценки прохождения фотосинтеза в клетках их листьев. Суть данного метода заключается в облучении листа растения световым потоком синего спектра, с последующей регистрацией «отклика» в красной области спектра[1]. Анализ получаемой индукционной кривой флуоресценции (кривой Каутского) позволяет принять оперативные меры по устранению стрессовых факторов, угнетающих растение.

**Основная часть.** *Целью работы* является разработка и исследование простого однолучевого флуориметра для измерения и анализа флуоресценции хлорофилла в листьях растений. Индукционная кривая флуоресценции представляет собой изменения эмиссии флуоресценции хлорофилла в фотосинтезирующем объекте. По индукционной кривой флуоресценции определяют ряд параметров, важнейшим из которых является показатель стресса:  $F_v / F_m$ , который представляет собой отношение  $(F_m - F_0) / F_m$ , где  $F_0$  – начальная флуоресценция листа, адаптированного к темноте;  $F_m$  – максимальный уровень флуоресценции. Для большинства растений при полном развитии вне стрессовых условий максимальное значение этого параметра равно 0,83. Его понижение означает, что перед измерением растение было подвержено влиянию стресса.

Структурная схема разработанного флуориметра представлена на рис. 1. В качестве источника возбуждающего излучения используется синий фитосветодиод мощностью 3 Вт с максимумом излучения на длине волны 450 нм. Данный источник создает необходимую для измерений

освещенность поверхности листа не менее  $3000 \text{ мкмоль}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ , как рассмотрено в источнике [2]. Для подавления отраженного светового потока возбуждающего синего излучения и выделения информационного красного потока флуоресценции используется красный светофильтр КС-19 с длиной волны среза  $700 \text{ нм}$ .

Для регистрации интенсивности флуоресценции в схеме использовано интегральное высокочувствительное малошумящее фотоприемное устройство TSL257, что позволило значительно упростить схемотехнику и конструкцию датчика флуориметра (см. рис. 2).

В результате испытаний опытного образца флуориметра были получены кривые флуоресценции при различных токах через светоизлучающий диод (см. рис. 3). Из результатов следует, что при снижении тока светодиода ниже  $0,15 \text{ А}$  интенсивность флуоресценции резко падает из-за недостаточной «накачки» клеток листа растения. Это означает, что ток светодиода не следует выбирать менее  $0,15 \text{ А}$ .

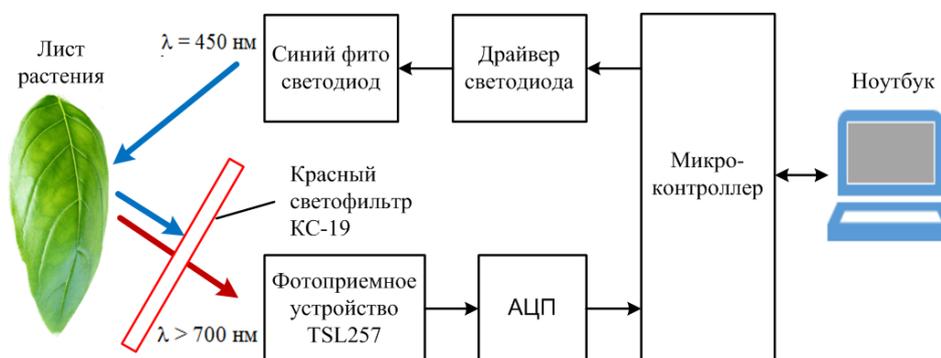
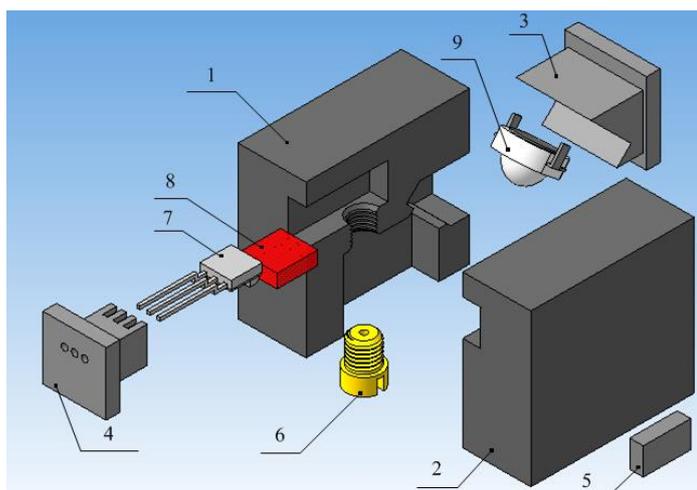


Рис. 1. Структурная схема флуориметра



1 – крышка левая, 2 – крышка правая, 3 – заглушка светодиода, 4 – заглушка фотоприемника, 5 – магнит неодимовый, 6 – диафрагма, 7 – фотоприемник TSL257, 8 – светофильтр КС-19 (красный), 9 – синий фитосветодиод.

Рис. 2. Конструктивные элементы датчика флуориметра

Полученные кривые флуоресценции имеют плавный вид, что говорит о низком уровне шумов измерительного канала.

Для оценки повторяемости результатов измерений были выполнены повторные измерения после затемнения листа в течение 10 минут (см. рис. 4). В результате получили следующие показатели флуоресценции:  $F_{o1} = F_{o2} = 156$ ;  $F_{m1} = 749$ ;  $F_{m2} = 740$ . Полученные данные свидетельствуют о хорошей воспроизводимости результатов измерений.

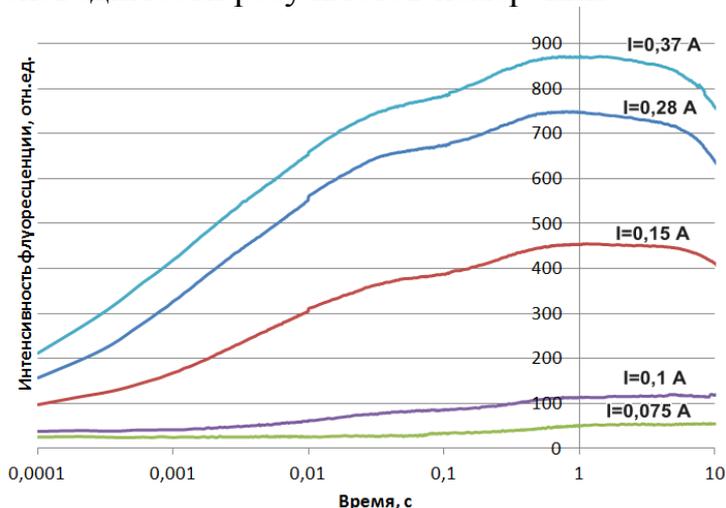


Рис. 3. Кривые флуоресценции при различных токах через светодиод

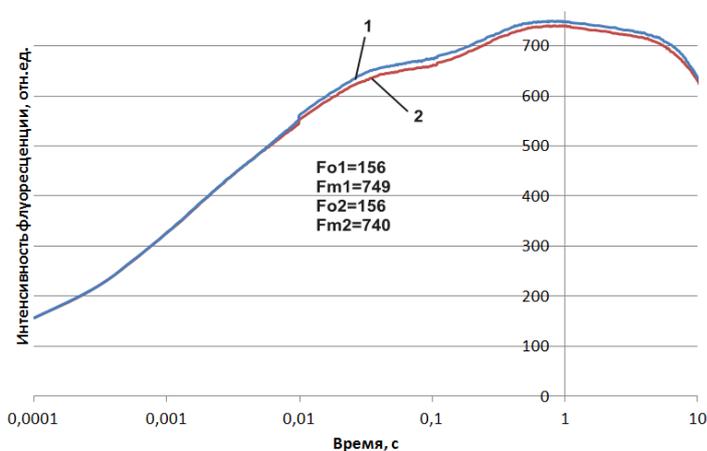


Рис. 4. Кривые флуоресценции при повторных измерениях

**Заключение.** Разработанный флуориметр прост в изготовлении и наладке, не имеет дорогостоящих компонентов и обладает достаточными метрологическими характеристиками.

### Список литературы

1. Карповский А. Ю. Анализ современных методов качественной оценки состояния растений. Автоматизация технологических объектов и процессов / А. Ю. Карповский, Д. Н. Кузнецов // Поиск молодых: сборник научных трудов XVIII научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 22-24 мая 2018 г. – Донецк : ДОННТУ, 2018. – 422-425 с.
2. Карповский А. Ю. Расчет светозенергетических характеристик излучателя однолучевого флуориметра / А. Ю. Карповский, Д. Н. Кузнецов // Вестник Донецкого национального университета: Серия Г: Технические науки. – 2020. – №4. – С. 4-11.

## СИСТЕМА НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СЕРВЕРОВ ДОСТУПА ПРОВАЙДЕРА

*Лакиза А.С., Ломонос Г.Т.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*lomonos.gn@gmail.com*

**Введение.** В связи с ростом популярности сети Интернет как инструмента для передачи информации, возросло и количество оборудования в сетях провайдеров. Каждое промежуточное оборудование является потенциальной точкой отказа, именно поэтому возникла необходимость создания различных систем мониторинга. Системы мониторинга необходимы для управления сетями любого масштаба, ретроспективного анализа произошедших событий, прогнозирования поведения, выявления неполадок в работе оборудования и сервисов, а также для оперативного реагирования на неблагоприятные события. Самой удобной формой взаимодействия является WEB-технология, поскольку позволяет получать доступ с различных устройств. На данный момент создано множество подобных систем – от узкоспециализированных до универсальных, но, как это обычно бывает, универсальные решения не всегда могут обеспечить решение всех задач. Поэтому создание систем мониторинга является востребованной задачей в фирмах, специализирующихся на предоставлении доступа в сеть Интернет, или предприятиях, имеющих развитую сетевую инфраструктуру.

**Основная часть.** Системы нагрузочного тестирования необходимы для определения допустимых границ использования оборудования, а также для проверки корректности и эффективности настроек. В большинстве случаев системы нагрузочного тестирования имеют закрытый исходный код, или реализуются в виде отдельного оборудования с большой стоимостью. Существует множество бесплатных систем мониторинга. Все они имеют существенный недостаток – предназначены для проверки оборудования на стенде в непосредственной близости и в большинстве случаев позволяют лишь приблизительно оценить производительность оборудования в силу специфики тестирования. Решением сложившейся ситуации становится автоматизированная система непрерывного мониторинга с возможностями оповещения в случае отсутствия доступа к определённым ресурсам, выходом из строя оборудования, перегрузкой внешних каналов, и прочего. Предлагаемая в данном докладе система состоит из следующих компонентов:

- 1) автономные устройства, которые эмулируют работу абонентов;
- 2) центральный сервер, с которым происходит взаимодействие устройств;

- 3) web-сервер, на котором располагается интерфейс управления;
- 4) база данных SQL для хранения неизменяющихся во времени данных;
- 5) база данных InfluxDB для хранения метрик [1].

Серверная часть системы написана на языке программирования PHP с использованием фреймворка Laravel [2,3]. На данном фреймворке реализована работа с базами данных SQL и InfluxDB, а также обработка HTTP запросов от пользователей. Клиентская часть реализована в виде одностраничного приложения, написанное на языке программирования JavaScript с использованием фреймворка Vue.js [4]. Автономное устройство представляет из себя компьютер с одним из дистрибутивов Linux, например, одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 с установленным Debian. Программное обеспечение автономного устройства написано на языке программирования Python.

При попытке перейти на сайт с интерфейсом управления пользователь посылает HTTP GET запрос на WEB-сервер, чтобы получить приложение. Дальнейшее взаимодействие с WEB-сервером осуществляется посредством асинхронных запросов. В качестве WEB-сервера выбран nginx [5].

Обновление конфигурации автономных устройств осуществляется автоматически с интервалом 1 минута через ssh, для чего на устройстве должен быть публичный ключ центрального сервера. Обновление программного обеспечения осуществляется автоматически с интервалом 5 минут посредством ansible. Обновление подразумевает получение актуальной версии скрипта из git репозитория. Конфигурация хранится в виде документа YAML [6].

**Заключение.** В процессе разработки была выполнена основная задача – разработана система нагрузочного тестирования и мониторинга состояния серверов доступа провайдера. Система предназначена для использования сетевыми инженерами с целью контроля качества предоставления услуг и проверки доступности сервисов из разных участков сети посредством имитации работы реальных абонентов.

### Список литературы

1. InfluxDB is a time series platform. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.influxdata.com/> – (Дата обращения 5.02.2021).
2. The PHP Manual is available online in a selection of languages. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.php.net/docs.php> – (Дата обращения 5.02.2021).
3. Laravel 8 / Web MVC framework – [Электронный ресурс] – URL: <https://laravel.com/docs/8/installation> – (Дата обращения 5.03.2021).
4. Прогрессивный JavaScript-фреймворк. – [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.vuejs.org/> – (Дата обращения 5.03.2021).
5. Nginx. – [Электронный ресурс] – URL: <https://nginx.org/ru/> – (Дата обращения 7.03.2021).
6. YAML – [Электронный ресурс] – URL: <https://yaml.org/> – (Дата обращения 9.03.2021).

## СИСТЕМА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ПОДДЕРЖКИ

*Ломонос Г.Т., Зайка Д.Д.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*lomonos.gn@gmail.com*

**Введение.** Доклад посвящен одному из вариантов решения проблемы индивидуальной кислородной поддержки в условиях эпидемии коронавируса. Мир в настоящее время переживает глобальную пандемию, коронавирус поразил в мире уже более 230 миллионов человек. Как известно, тяжелое течение коронавирусной инфекции приводит к нарушению нормальной деятельности не только легких, но и прочих органов тела. На сегодняшний день нет лекарств, которые помогли бы сразу вылечить коронавирус. Терапия среднетяжелых и тяжелых форм болезни носит патогенетический характер: она направлена на поддержание организма. Кислород помогает купировать гипоксию: предупреждает и устраняет кислородное голодание тканей и органов [1]. Часть летальных исходов происходит из-за невозможности обеспечения пациентов кислородом. Рост заболеваемости пандемией коронавируса и нехватка стационарных мест с аппаратами искусственной вентиляции легких заставляет задуматься о кислородной терапии в домашних условиях.

**Основная часть.** В настоящее время в продаже имеются дорогостоящие кислородные концентраторы. Принцип их работы основан на получении кислорода из воздуха. Большинство населения не могут себе позволить их приобрести. Решением этой проблемы может служить относительно недорогой прибор индивидуальной кислородной поддержки домашнего использования, прототип которого разработан на кафедре компьютерных технологий ДОННУ. Этот прибор предназначен для обеспечения кислородом пациентов, нуждающихся в кислородной терапии низкой интенсивности потока при острой первой необходимости. Его функции:

- измерение у пациента сатурации ( $SpO_2$ ), сердечного ритма, температуры тела, отображение этих значений на экране дисплея;
- передача по сети Интернет текущих значений этих параметров в медицинский центр, при соответствующем согласовании;
- автоматическое поддержание на выходе прибора заданного кислородного потока.

Создание аппаратно-программного устройства индивидуальной кислородной поддержки включало разработку микроконтроллерной системы измерения параметров состояния пациента, системы получения кислорода и системы обеспечения задаваемого уровня потока кислорода на выходе трубки с носовой канюлей. Принцип работы данного устройства основан на получении кислорода из пероксида водорода [2] – свободно

продающейся антибактериальной жидкости и аппаратно-программного обеспечения информационного мониторинга состояния пациента с возможностью управления интенсивностью подачи кислорода пациенту и обеспечения передачи данных по сети Интернет.

На основе рассмотренных возможностей современных микроконтроллеров и датчиков [3-6] для получения измеряемых данных и управления потоком подачи кислорода программно-аппаратная часть прибора выполнена с использованием микроконтроллера Arduino Nano и модуля ESP-07 – модификации платы на базе Wi-Fi модуля ESP8266EX. Структурная и функциональная схема прибора приведена на рис. 1.

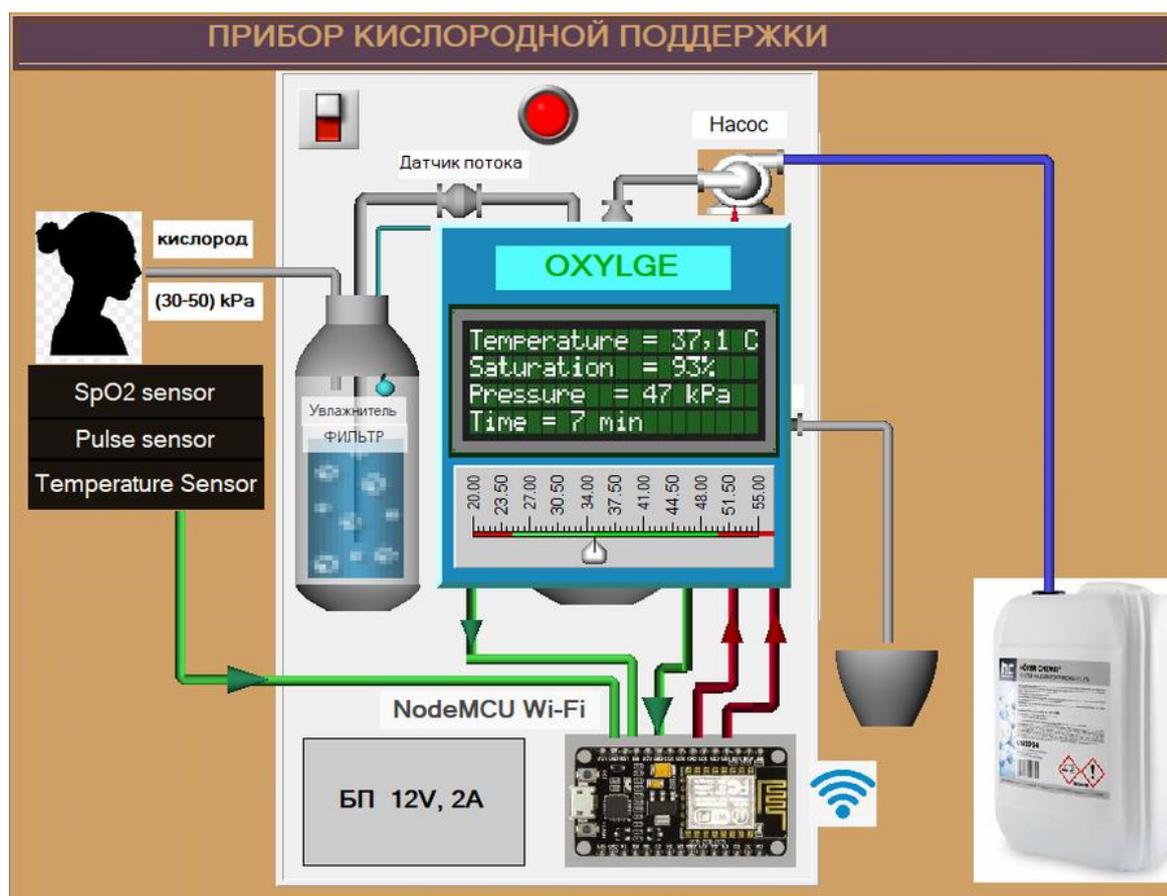


Рис. 1. Структурная и функциональная схема прибора

В зависимости от концентрации раствора пероксида водорода обеспечение задаваемого потока кислорода осуществляется системой клапанов, контуром регулирования, состоящим из датчика потока, измеряемые значения которого сравнивается с задаваемым и алгоритмом регулирования для управления работой насоса с целью поддержания необходимой концентрации раствора пероксида водорода в рабочем контейнере с катализатором. Получаемый в рабочем контейнере кислород через трубку с датчиком потока поступает в фильтр-увлажнитель и из него в носовую канюлю. Программное обеспечение для микроконтроллера создано при

помощи официальной свободной интегрированной среды разработки Arduino IDE с использованием простого диалекта языка C++ (Wiring) [5].

Измеряемые показатели состояния пациента с заданной периодичностью посредством Post запросов программного кода модуля Wi-Fi передаются по сети Интернет веб-приложению для записи в базу данных SQLite. Серверная часть реализована при помощи PHP фреймворка – Laravel. Веб-сайт позволяет представлять данные о пациентах, лечащих врачах и просматривать временные тренды из базы данных, полученных по сети от прибора индивидуальной кислородной поддержки о состоянии пациентов. Спроектирован и разработан Telegram-бот, который взаимодействует с базой данных для оперативного просмотра информации о пациентах и их состоянии, пользовательский интерфейс которого представлен на рис. 2.

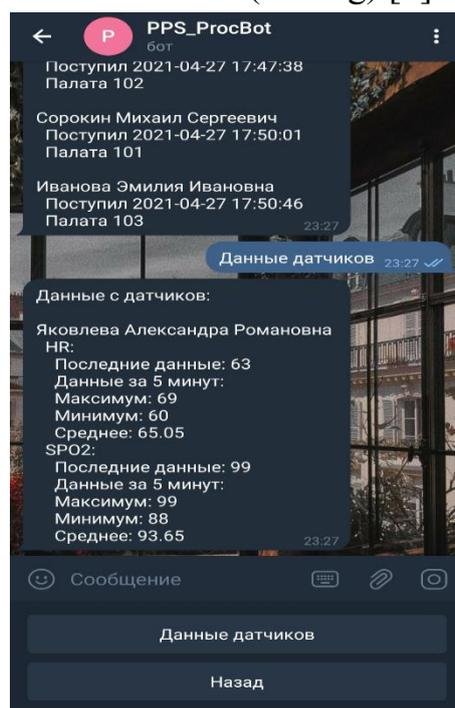


Рис. 2. Интерфейс пользователя

**Заключение.** Представленный способ кислородной поддержки предназначен только как исключительный вариант при невозможности получения неотложной медицинской помощи. Продолжительность получения кислорода зависит от концентрации и объема раствора пероксида водорода. Реализованное веб-приложение позволит ускорить поступление диагностической информации, провести ретроспективный анализ, посмотреть в динамике и под действием препаратов на состояние пациентов, автоматизировать процесс диагностики. А также, своевременно оповещать об изменении состояния, особенно критическом, которое требует неотложной помощи.

### Список литературы

1. Концентратор кислорода при коронавирусе. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.med-kislorod.ru/kontsentrator-kisloroda-pri-koronaviruse/> – (Дата обращения 3.02.2021).
2. Получение кислорода из пероксида водорода. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=54apJTf4qH0> – (Дата обращения 3.02.2021).
3. Arduino Products. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products/> – (Дата обращения 2.03.2021).
4. Wi-Fi модуль ESP-07. – [Электронный ресурс] – URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/wi-fi-module-esp-07/> – (Дата обращения 2.03.2021).
5. Программирование Ардуино. – [Электронный ресурс] – URL: <https://doc.arduino.ua/ru/prog/> – (Дата обращения 3.03.2021).
6. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ПОКОЛЕНИЙ ВИДЕОКАРТ

*Мартыненко А.М., Богдан Я.А.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*1234q-14@mail.ru*

**Введение.** Трассировка лучей (англ. Ray tracing; рейтрейсинг) – один из методов геометрической оптики, исследование оптических систем путем отслеживания взаимодействия отдельных лучей с поверхностями.

Для большего понимания и сравнения данных архитектур, необходимо разобраться в технологиях данных компаний.

**NVIDIA.** Чипы семейства GeForce RTX 30 основаны на архитектуре RTX второго поколения, Ampere, названной в честь французского физика Андре Ампера. Производительность и энергоэффективность новой микроархитектуры была значительно улучшена, по сравнению с предыдущим поколением чипов, основанных на архитектуре Turing. Это было достигнуто, в том числе благодаря переходу на 8-нанометровый техпроцесс, что позволило значительно увеличить количество вычислительных блоков. В данном поколении видео карт была представлена технология DLSS [1].

Обычно под термином «n-нанометровый техпроцесс» подразумевают размер транзисторов на n нанометров.

NVIDIA DLSS (сглаживание с алгоритмами глубокого обучения) – это революционная технология рендеринга на базе ИИ, которая обеспечивает новый уровень качества графики при помощи процессоров для обработки алгоритмов ИИ (тензорных ядер) в видеокартах GeForce RTX™. Технология обеспечивает производительность, позволяющую выкрутить настройки трассировки лучей и разрешение на максимум [1].

### **Достоинства видеокарт:**

- 1) Самая быстрая память на данный момент. NVIDIA использует память стандарта GDDR6 что позволяет работать в два раза быстрее, чем видеокарты с памятью стандарта GDDR5.
- 2) Улучшение производительности с использованием технологии DLSS.
- 3) Разработка программного обеспечения против майнинга.

### **Недостатки видеокарт:**

- 1) Малое количество выпускаемых видеокарт.
- 2) Компания NVIDIA использует видеопамять от компании DSMS. Данная компания пока не смогла увеличить оборот видеопамяти.
- 3) Дорогая стоимость самих видеокарт.
- 4) Это связано с тем, что компания использует дорогую память, а так же нехватка данной памяти.
- 5) Использование технологии DLSS разработчиками игр.

**AMD.** Архитектура AMD RDNA 2 вводит значительные усовершенствования в виде улучшенных вычислительных блоков, нового графического конвейера и абсолютно новой кэш-памяти AMD Infinity Cache, обеспечивая производительность в играх с высоким разрешением и четким изображением [2].

### **Кэш-память AMD Infinity Cache**

Архитектура AMD RDNA 2 стала еще эффективнее с внедрением AMD Infinity Cache – совершенно нового уровня кэш-памяти, обеспечивающего высокую пропускную способность при более низком энергопотреблении и меньших задержках. Эффективно применяя лучшие высокочастотные подходы архитектуры Zen, AMD Infinity Cache обеспечивает масштабируемую производительность с заделом на будущее [2].

### **Достоинства видеокарт:**

- 1) Переход видеочипов на новый технический процесс. Технический процесс – это количество транзисторов на поверхности процессора. Использование доступной RTX технологии. Под данным пунктом подразумевается то что компания использовала не 2 полноценных блока RTX ядер, а 1 блок который используются для рассчитывать только траекторию лучей , а остальные блоки будут их уже производить. Более низкая стоимость.
- 2) Большое количество памяти на всей линейке видеокарт.

### **Недостатки видеокарт:**

- 1) Малая оптимизация технологии RTX. В сравнении с компанией NVIDIA технологи RTX у компании AMD проигрывает в производительности.
- 2) Малое количество видеокарт в продаже.

В таблице сравнение старших моделей видеокарт компаний AMD и NVIDIA.

Таблица

Сравнение видеокарт

Характеристики	NVIDIA RTX 3090	AMD Radeon RX 6900
Тактовая частота	1700 GHz	2250 GHz
Скорость заполнения пиксельная	340 GP/s	228 GP/s
Скорость заполнения текстурная	780 GT/s	720 GT/s
Количество шейдерных блоков	320	320
Объем памяти	24 GB	16 GB
Тип памяти	GDDR 6	GDDR 6
Ширина шины	384-bit	256-bit
Быстродействие памяти	18 Gbps	16 Gbps
Дополнительное питание	2x8 pin	2x8 pin
Рекомендованный блок питания	750 w	850 w

**Вывод.** Анализируя характеристики данных поколений видеокарт можно сделать вывод, что обычному пользователю будет лучше исполь-

зовать видеокарты от компании NVIDIA. Это можно аргументировать тем, что компания AMD в данном поколении видеокарт смогла догнать NVIDIA но, в это же время компания NVIDIA использует более оптимизированные и производительные технологии. Однако разработчики лучше оптимизируют свои игры под видеокарты AMD. Эта оптимизация связана с тем, что разработчики игровых консолей используют новое поколение видеокарт AMD. Данные поколения видеокарт существенно улучшили свои показатели по сравнению с прошлыми поколениями.

### Список литературы

1. Игровые видеокарты GEFORCE RTX 3000 серии – <https://www.nvidia.com/ru-ru/geforce/graphics-cards/30-series/rtx-3090/>
2. Игровые видеокарты AMD RADEON RX 6000 серии – <https://www.amd.com/ru/products/graphics/amd-radeon-rx-6900-xt>
3. Паттерсон Д. Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем / Д. Паттерсон, Дж. Хеннесси. – Санкт-Петербург: «Питер», 2012. – 784 с.
4. Таненбаум Э. Архитектура компьютера / Э. Таненбаум, Т. Остин. – Санкт-Петербург: «Питер», 2013. – 544 с.

УДК 004.021

## ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКА НАИЛУЧШЕГО ХОДА В КОМПЬЮТЕРНОЙ ШАХМАТНОЙ ИГРЕ

*Мартыненко А.М., Васильев С.В.*

ГОУ «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*stas\_hardpo@outlook.com*

**Введение.** Лучшая шахматная партия была разыграна между Адольфом Андерсеном и Лионелем Кизерицким в 1851-ом. Хотя правила элементарны, шахматы – настоящее испытание умения предвидеть, тактики и простого терпения. Причины играть в шахматы несколько, компьютерные шахматы – отдых, обучение и просто желание соревноваться – а поэтому существуют разные виды программ и игр.

Хорошие решения моментально становятся повсеместно используемые. Существует большое количество компьютерных шахмат, первой необходимостью является поиск алгоритмов-аналогов.

**Цель** Оптимизации поиска наилучшего хода в компьютерной шахматной игре.

**Основная часть.** Для экономии времени и повышении быстроты хода компьютера, и исследования плохих или незначительных ходов Шеннон предложил использовать программы типа В, который имеет два усовершенствования:

- 1) Применяется поиск «по спокойствию» (quietness).

2) Исследует не все, а только некоторые пригодные ходы для каждой позиции.

Это давало программам (типа В) возможность просчитывать наиболее важные ходы на большую глубину и делать это за более быстрое время. Первый подход выдержал испытание временем: все современные программы применяют конечный поиск «по спокойствию» перед оценкой позиции [3].

Выбор наилучшего хода делается при помощи минимакс алгоритма. Рекурсивное дерево с отображением всех возможных ходов анализируется до заданной глубины. Позиция оценивается по листьям дерева. Далее возвращается минимальное или максимальное значение потомка в родительский узел. Все зависит от того, ход какой стороны сейчас просчитывается. Т.е. результат максимизирует или минимизирует на каждом из уровней.

Метод альфа-бета-отсечения. Это метод оптимизации минимакс алгоритма, дающий возможность игнорировать некоторые ветви в дереве поиска. Что позволяет увеличить глубину поиска, затрачивая прежний объем ресурсов [4].

Альфа-бета-отсечение основано на ситуации, когда нужно остановить оценку определенной ветви, если обнаруживается, что новый ход приведет к худшей ситуации, чем та, которая была при оценке предыдущего [3].

На результат минимакса оптимизация не влияет, но все начинает работать быстрее. Этот алгоритм гораздо более эффективен в том случае, если сначала проверить пути, ведущие к хорошим ходам.

Лучший ход для белых – b2-c3, так доберемся до позиции, где оценка равна -50 (рис. 1).

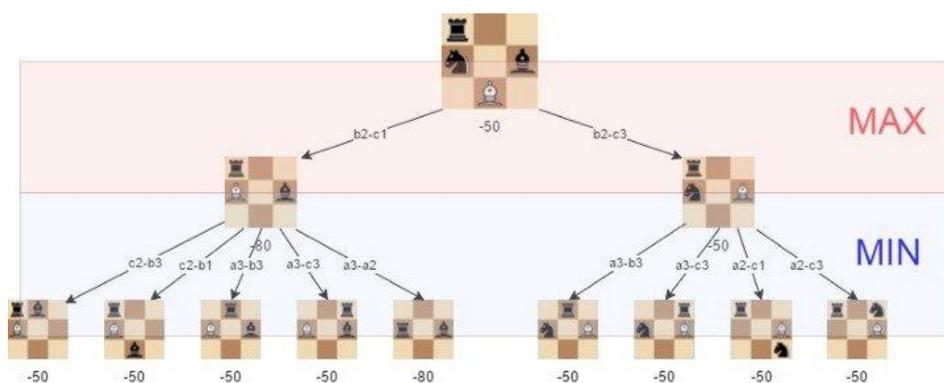


Рис. 1. Минимакс в искусственном положении

Изображение (рис. 2) демонстрирует ходы, которые становятся ненужными в процессе использования альфа-бета-отсечения.

Количество позиций, которые требуется оценить в случае поиска с глубиной 4 и начальной позицией. (минимакс – 879750; Альфа-бета-отсечение – 61721) (рис. 3).

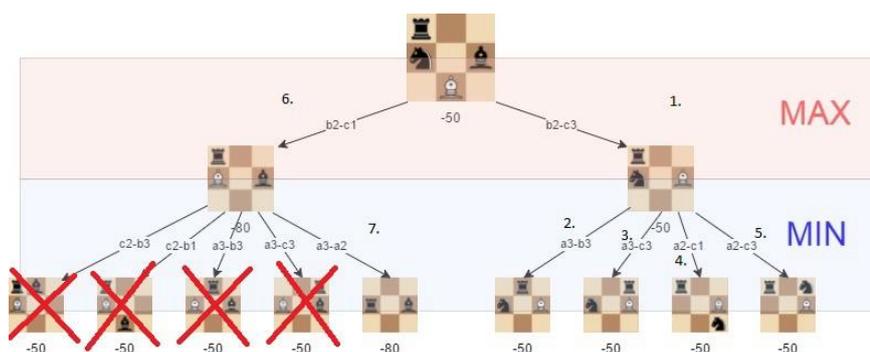


Рис. 2. Демонстрация альфа-бета-отсечения

	Minimax	Minimax with alpha-beta
Positions	879750	61721

Рис. 3. Количество позиций для оценки, в случае поиска с глубиной 4

Стоит отметить, что эффективность минимакс алгоритма увеличивается с глубиной поиска. За это отвечает Альфа-бета-отсечение[1].

**Заключение.** На основе данного метода, можно оптимизировать алгоритм для игрового приложения «Шахматы», включив в него метод альфа-бета-отсечения, которое предоставляет возможность более сложного процесса игры в шахматы и что в свою очередь облегчает обучение и экономит время.

### Список литературы

1. Хабр для специалистов в IT [Электронный ресурс] // Несложный шахматный ИИ – URL: <https://habr.com/ru/company/skillbox/blog/437524/> (дата обращения 15.09.2021).
2. Программирование шахмат и других логических игр, Корнилов Евгений Николаевич, БХВ-Петербург, 2005.
3. Типичный программист [Электронный ресурс] // Пошаговое руководство по созданию простого ИИ для игры в шахматы – URL: <https://tproger.ru/translations/simple-chess-ai-step-by-step/> (дата обращения 15.09.2021).
4. Проект AI-News [Электронный ресурс] // Альфа-бета-отсечение – URL: [https://ai-news.ru/2019/01/sozdaem\\_neslozhnyj\\_shahmatnyj\\_ii\\_5\\_prostyh\\_etapov.html](https://ai-news.ru/2019/01/sozdaem_neslozhnyj_shahmatnyj_ii_5_prostyh_etapov.html) (дата обращения 15.09.2021).

## О РАЗРАБОТКЕ 2D ИГРЫ В ЖАНРЕ ROGUELIKE С УПРОЩЕННЫМИ МЕХАНИКАМИ

*Маслов Н.С., Мартыненко А.М.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*nikita31122001@gmail.com*

**Введение.** В наше время компьютерные игры являются одним из самых распространённых видов развлечения и досуга.

Жанр roguelike является довольно специфичным и не самым распространённым, его целевая аудитория не так обширна, как у более популярных жанров [1]. На распространённость подобных игр также влияет высокая сложность, которая часто требует времени для того, чтобы разобраться только в основных механиках. К тому же, большое количество игр данного жанра выпускают инди-разработчики – один человек или группа людей, которые разрабатывают компьютерные игры без финансовой поддержки крупных игровых издательств.

**Цель.** В рамках данной работы будет создана 2D игра в жанре roguelike с помощью одной из сред разработки компьютерных игр. Данный проект отличается тем, что выбранный жанр будет упрощен для более быстрого освоения основных механик. Игра будет служить не только средством ознакомления с жанром, но и для привлечения внимания к нему большего количества игроков.

**Основная часть.** Для создания игры необходимо выбрать среду разработки. Игровой движок или game engine – это программное обеспечение, которое служит для разработки компьютерных игр и других программ с интерактивом, обрабатывающих графику в реальном времени [2].

Для анализа были взяты и рассмотрены такие игровые движки: Unity, Unreal Engine 4, CryEngine V.

Unity – это кроссплатформенный движок для разработки игр, который разработала компания Unity Technologies. Данный движок поддерживает большое количество платформ, обладает низкими системными требованиями и понятным и удобным интерфейсом.

CryEngine V – это самая последняя версия игрового движка, разработанного компанией Crytek. В движке делается большой упор на визуальную составляющую, и поэтому он имеет большое количество инструментов и функций для достижения максимально качественного изображения. Движок CryEngine – это отличный инструмент для разработки больших 3D проектов.

Unreal Engine 4 – это игровой движок от компании Epic Games. Набор инструментов Unreal Engine позволяет сильно упростить работу с ландшафтом и растительностью. Unreal Engine широко поддерживает

разработку мультиплеерных игр. Данный движок может похвастаться возможностью работы в режиме виртуальной реальности с расширенными элементами управления.

Так как для разработки данного проекта не требуются дополнительные инструменты, то главными критериями выбора среды разработки являются: бесплатная лицензия, наличие обучающей документации, низкие системные требования, удобный инструментарий для разработки 2D проектов. Данным критериям более всего соответствует движок Unity.

Для реализации проекта на движке Unity необходима совместимая с ним программа для написания программного кода, поэтому был выбран Visual Studio Code – редактор кода от компании Microsoft.

Код игры был написан с использованием парадигмы объектно-ориентированного программирования (ООП), в которой основными концепциями являются понятия объектов и классов [3]. Подход к программированию как к моделированию информационных объектов структурирует информацию с точки зрения управляемости, что существенно улучшает управляемость самим процессом моделирования [4].

В результате разработки код был разделен на 13 классов и 2 интерфейса (табл.), что значительно улучшило его читабельность и облегчило реализацию игровых механик.

Таблица

Описание файлов

Название файла	Описание
1	2
BoardManager	Класс, отвечающий за создание уровня с помощью тайлов, распределение противников и препятствий по уровню.
Boss	Класс, отвечающий за поведение и характеристики босса игры. Наследуется от класса Enemy.
CameraControl	Класс, определяющий поведение главной камеры (слежение за персонажем, тряска, плавность).
Enemy	Класс, отвечающий за поведение обычного врага (передвижение, обнаружение игрока, нанесение и получение урона). Наследует интерфейс IEntity.
EnemyStats	Класс, наследуемый от интерфейса IStats и управляющий здоровьем каждого противника и его полосой здоровья.
GameManager	Основной класс, управляющий вызовом функций класса BoardManager для генерации уровней, переходами между уровнями, открытием магазина, определением состояния игры.
GameOver	Класс, служащий для работы меню поражения и прохождения игры.
IEntity	Интерфейс, в котором собраны общие свойства классов игрока и противников.
IStats	Интерфейс, в котором собраны общие свойства классов характеристик игрока и противников.
MainMenu	Класс, служащий для работы главного меню.

1	2
Obstacle	Класс, отвечающий за поведение объекта, позволяющего призвать босса игры.
Player	Класс, отвечающий за поведение персонажа (передвижение, анимации, нанесение и получение урона). Наследует интерфейс IEntity.
PlayerStats	Класс, наследуемый от интерфейса IStats и управляющий здоровьем игрока, его полосой здоровья и количеством заработанных монет.
Shop	Класс, отвечающий за работу внутриигрового магазина.
SpikedSlime	Класс, отвечающий за поведение и характеристики особого вида противников. Наследуется от класса Enemy.

После разработки и сборки проекта необходимо провести этап тестирования. Он необходим для проверки проекта на работоспособность и выявление ошибок. Обнаруженные ошибки были исправлены и проект дали протестировать нескольким людям. Принимавшие участие в тестировании без особых усилий разобрались в управлении и основных механиках игры. Дополнительных ошибок в ходе данного тестирования обнаружено не было.

**Заключение.** В ходе разработки проекта было проведено исследование жанра roguelike, а также основных сред разработки компьютерных игр и различных технологий программирования. С помощью движка Unity были созданы объекты, используемые в игре, сделаны анимации объектов, освещение на уровне и настроены остальные визуальные составляющие проекта. С помощью редактора кода Visual Studio Code были написаны все необходимые скрипты. Готовый продукт прошел альфа- и бета-тесты. Замечания и пожелания тестировщиков были приняты во внимание, выявленные ошибки были исправлены.

В результате работы была достигнута цель проекта – разработана компьютерная игра в жанре roguelike с упрощенными, по сравнению с существующими играми, механиками.

### Список литературы

1. ASCII art + permadeath: The history of roguelike games [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arstechnica.com/gaming/2020/03/ascii-art-permadeath-the-history-of-roguelike-games/>
2. Game Engines. How do they work? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.giantbomb.com/profile/michaelenger/blog/game-engines-how-do-they-work/101529/>
3. Бадд Т. Объектно-ориентированное программирование в действии / Т.Бадд. – СПб.: Питер, 1997. – 304 с.
4. Edsger W. Dijkstra Программирование как вид человеческой деятельности. 1979 (EWD117)

## ЧАТ-БОТЫ КАК ЭЛЕМЕНТ ЦИФРОВИЗАЦИИ БАНКОВСКОГО СЕКТОРА

*Медникова Е.В.*

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)»,  
г. Ростов-на-Дону, РФ  
*jmednikova2000@gmail.com*

**Введение.** Отдельной чертой развития современной экономики в мире является цифровизация финансовой сферы. Для того чтобы остаться успешным и конкурентоспособным на рынке, необходимо внедрение передовых «цифровых» технологий. Благодаря современным сервисам банки автоматизируют процессы, ускоряют и упрощают банковское обслуживание. Одним из элементов цифровизации банковской деятельности являются чат-боты. В данной работе рассматривается распространенность чат-ботов в банковской сфере и эффективность и перспективы их применения.

**Основная часть.** Очень долгое время для консультирования и обслуживания клиентов банки использовали только контактные центры. Однако ежедневно в контактные центры обращается огромное количество клиентов. Поэтому многие банки решили рассмотреть возможность внедрение голосовых помощников и чат-ботов.

Чат-боты позволяют оптимизировать процесс консультирования клиентов, что в свою очередь снимает нагрузку на контактные центры и ускоряет процесс обработки запроса от клиента.

В 26 % случаев на банковских сайтах можно встретить чат-ботов. При этом у ряда банков чат-боты интегрированы с социальными сетями Facebook (16 %) и «ВКонтакте» (12 %).

Некоторые банки используют чат-боты в мессенджерах, например, в WhatsApp. Данный мессенджер используют 10 банков, причем в 60% случаев беседа начнется с чат-ботом. В семи из восьми банков используют чат-ботов в Telegram. У четырех банков есть аккаунт в Viber, в трех из них – чат-бот [3].

В соответствии с рисунком, можно отметить, что коммуникация между банком и клиентом происходит в основном через чат-боты. Единственными каналами связи, где коммуникация происходит с помощью сотрудника банка, являются Facebook и «ВКонтакте», т.е. в социальных сетях консультацию оказывают обычно сотрудники банка. На собственном сайте банка и в мессенджерах в основном встречаются чат-боты.

Ниже представлен рейтинг банков по качеству клиентского опыта в чатах банков:

1. Тинькофф Банк (62,4 %);

2. Почта Банк (46,3 %);
3. Сбербанк (45,7 %);
4. ВТБ (40,5 %);
5. Совкомбанк (39,3 %);
6. Альфа-Банк (37,9 %);
7. Банк Хоум Кредит (37,9 %);
8. Россельхозбанк (37,8 %);
9. Райффайзенбанк (32,6 %);
- 10.ОТП Банк (31,2 %).

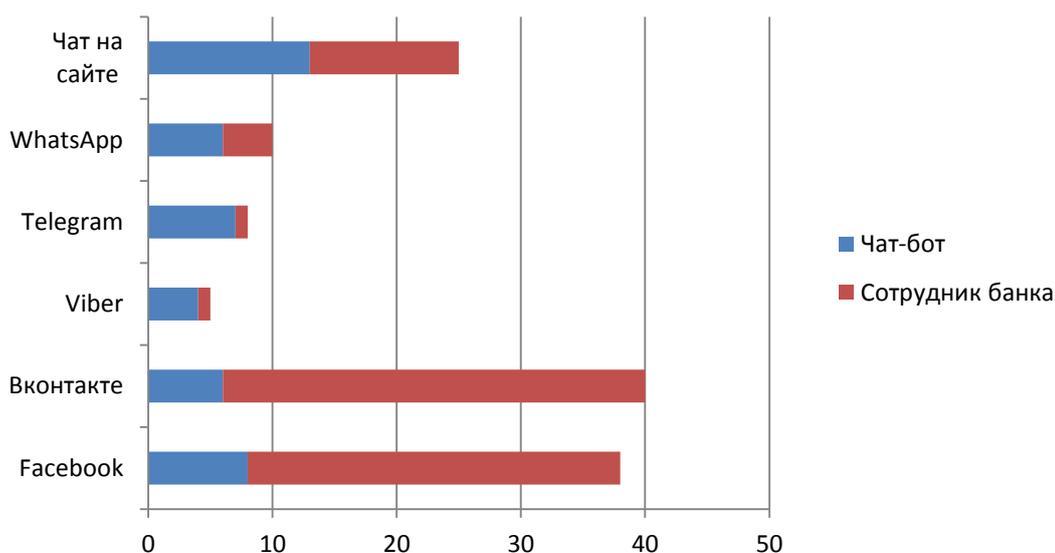


Рис. Распределение банков по каналам общения

Рейтинг разработан в рамках исследования Chatbot Rank 2021 и оценивает качество обработки входящих обращений по 6 блокам задач [1].

Стоит отметить, что согласно исследованию, почти у каждого чат-бота есть свои слабые стороны, несмотря на расположение банка в рейтинге. Так, например, Тинькофф Банк занимает первое место в данном рейтинге благодаря своему UX/UI дизайну, который интуитивно понятен пользователю, а в случае возникновения проблем располагает всплывающими подсказками, кнопками и баннерами. Однако при этом робот медленно обрабатывает запросы и не всегда может помочь клиенту.

При этом Райффайзенбанк и ОТП Банк, несмотря на низкое место в списке, внедрили чат-боты во все каналы общения. Но низкое место в рейтинге объясняется низким уровнем развития чат-ботов, так как они не могут сами решить поставленную задачу, а способны только подсказать клиенту, где ему найти необходимую информацию, или переключить на сотрудника банка.

**Заключение.** Таким образом, эффективность и целесообразность применения чат-ботов спорная. С одной стороны, чат-боты существенно снизили нагрузку на контактные центры и ускорили процесс консультации

клиентов. С другой стороны, многие банки не используют все возможности чат-ботов, а сами роботы в некоторых случаях не в состоянии решить проблему клиента.

Однако перспективы применения чат-ботов в банковской сфере многообещающие. Несмотря на существенные недостатки применения роботов для консультирования клиентов, после тестовых заданий, связанных с опытом использования чат-ботов, в среднем по рынку показатель неудовлетворенности (CDI) превышает 10%. Когда же пользователь получает положительный опыт решения задач с помощью бота – после тестовых заданий показатель удовлетворенности (CSI) в исследуемых чатах в среднем составил около 70% [2]. То есть пользователи настроены благосклонно к чат-ботам и готовы их использовать, если качество обслуживания будет на высоком уровне

### Список литературы

1. Chatbot Rank 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.marksw Webb.ru/report/chatbot-rank-2021/#anchor-about> (Дата обращения: 12.09.2021)
2. Могут ли чат-боты полноценно заменить менеджеров в ритейле, банках и телекоме? Результаты Markswebb Chatbot Rank 2021 [Электронный ресурс] // Retail-loyalty. URL: <https://retail-loyalty.org/news/mogut-li-chat-boty-polnotsenno-zamenit-menedzherov-v-riteyle-bankakh-i-telekome-rezultaty-marksw Webb-/> (Дата обращения: 12.09.2021)
3. Уровень цифровизации банковских услуг [Электронный ресурс] // Banki.ru. URL: <https://www.banki.ru/news/research/?id=10950478> (Дата обращения: 12.09.2021)

УДК 004.912

## АНАЛИЗ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ ЛЁГКИХ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОСТАНОВКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ДИАГНОЗА

*Михнюк Е.В., Савенков И.Н., Нестругина Е.С.*, канд. техн. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*noisystreet10@gmail.com, sim675kn@gmail.com*

**Введение.** В настоящее время диагностика легочных заболеваний является очень актуальной задачей. Особенно это важно для стран с высокоразвитой промышленностью. Недостаточный контроль над очистными сооружениями повышает риск подверженности таким заболеваниям, как пневмония, туберкулез, рак легких и другим. Поэтому необходимо производить регулярный мониторинг состояния легких у населения для предупреждения или раннего обнаружения заболевания.

В современном мире, в связи с появлением коронавирусной инфекции, являющейся частным случаем пневмонии или атипичной пневмонии, применение компьютерных технологий в сфере рентгенологии стало жизненно необходимым. А с увеличением роста заболеваемости коронавирусной инфекцией и другими заболеваниями, связанными с лёгкими человека, стало ясно, что медицинские учреждения с огромным трудом справляются с увеличившейся нагрузкой. Следовательно, для облегчения работы медицинских учреждений и увеличения пропускной способности пациентов в больнице, необходима разработка системы для установки предварительного диагноза по рентгеновским снимкам лёгких на основе глубокого машинного обучения [1].

**Целью** данной работы является постановка предварительного диагноза в сфере медицинских исследований по рентгеновским снимкам легких человека на основе использования свёрточной нейронной сети.

**Основная часть.** Рентгенография является наиболее доступным для населения и технически простым методом предварительной диагностики заболевания легких, кроме того, позволяющим определить заболевание на ранней стадии. Данное исследование долгие годы остается приоритетным в медицинской практике и широко распространено по всему миру.

Однако, анализ и выявление признаков заболевания по флюорографическим снимкам является довольно сложной задачей. Кроме того, в данном случае требуется участие нескольких высококвалифицированных специалистов.

Развитие компьютерных технологий позволяет выполнить автоматизацию процесса классификации рентгеновских снимков, что значительно ускоряет процесс постановки диагноза и назначения лечения. При большом увеличении количества больных это имеет первостепенное значение [1].

Для предварительной постановки диагноза было выделено несколько видов классификации и несколько подходов.

Первоначально производится классификация рентгеновских снимков на два класса: здоровые легкие и легкие с какой-либо патологией.

**Подробный подход.** В зависимости от класса, который определён на первом этапе, будет зависеть количество дальнейших шагов. В данном подходе следующие ступени:

- Ступень 1. Определяется нормальное и ненормальное состояние лёгких.
- Ступень 2. При нормальном состоянии, система завершает работу. При ненормальном состоянии выполняется определение типа заболевания (вирусное, бактериальное или другой фактор возникновения).
- Ступень 3. Выделяется само заболевание (класс болезни) в зависимости от типа заболевания.

Например, если в качестве примера взять определение коронавирусной инфекции, то будут выполнены следующие шаги:

- Ступень 1. Ненормальное состояние.
- Ступень 2. Вирусное заболевание.
- Ступень 3. Коронавирусный возбудитель.

В случаях с наиболее распространёнными проблемами лёгких на второй ступени при определении самого заболевания рассматриваются следующие классы: грипп, коронавирусная инфекция, туберкулёз и последний класс – другие (для отсека прочих заболеваний) [2].

Для постановки предварительного диагноза на основе анализа рентгеновских снимков лёгких человека применяются методы глубокого машинного обучения, представляющих собой класс методов искусственного интеллекта, основанных на изучении представления данных, а не на алгоритмах для решения конкретных специфических задач, которые лежат в основе «неглубоких» методов.

На рисунке приведена схема, содержащая основные этапы работы таких алгоритмов [4].



Рис. Классическая схема этапов машинного обучения

**Заключение.** Из полученных результатов, на данный момент, определение нормального и ненормального состояния определяется с точностью в среднем 70–75 %. Однако следующие этапы показывают малый результат точности. Поэтому необходимы дальнейшие экспериментальные исследования в формировании обучающих выборок и архитектуре нейронной сети.

### Список литературы

1. Roosa, K., Lee, Y., Luo, R., Kirpich, A., Rothenberg, R., Hyman, J. M., Yan, P., and Chowell, G. Real-time forecasts of the COVID-19 epidemic in China from February 5th to February 24th, 2020. *Infectious Disease Modelling*.
2. Ahrabi S.S., Scarpiniti M., Baccarelli E., Momenzadeh A. An Accuracy vs. Complexity Comparison of Deep Learning Architectures for the Detection of COVID-19 Disease from January 6 th, 2021 *Infectious Disease Modelling*.
3. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Springer, LNCS.* – 2015. – Vol. 9351. – P. 234–241.
4. Eliminating rib shadows in chest radiographic images providing diagnostic assistance / H. Ogul, B.B. Ogul, A.M. Agildere et al. // *Computer Methods and Programs in Biomedicine.* – 2016. – Vol. 127. – P. 174-184.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ НИЗКИХ УРОВНЯХ ОСВЕЩЁННОСТИ СЦЕНЫ

*Мищенко А.А., Семилетов И.М.,* канд. физ.-мат. наук,  
*Базарский О.В.,* д-р физ.-мат. наук, проф.

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*someone127@yandex.ru*

**Введение.** Системы технического зрения используются в различных областях науки и техники. При этом недостаточно изучены процессы получения изображения в сложных метеорологических условиях и низких уровнях освещённости. В работе приводятся экспериментальные данные по получению и обработке изображений, полученных в условиях низкой освещённости меньше 0,18 лк.

**Основная часть.** Для оценки потенциально возможного разрешения фотоаппарата при низких уровнях освещённости сцены были получены изображения миры в тёмной комнате при различных уровнях её освещённости. Мира освещалась лампочкой накаливания, сила света которой регулировалась. Плотность потока мощности светового излучения, падающего на сцену, измерялась прибором ThorLabs S120VC с чувствительностью 1 нВт/см<sup>2</sup>, которая затем пересчитывалась в освещённость сцены. Расстояние до миры  $H = 1$  м, фокусное расстояние объектива фотоаппарата  $F = 5$  см.

Теоретически минимально возможное разрешение определяется размером пикселя матрицы фотоаппарата, равном  $l = 7$  мкм. Тогда разрешение по сцене (мире) равно

$$\Delta = l \cdot \frac{H}{F} = 7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{5 \cdot 10^{-2}} = 0,14 \text{ мм.} \quad (1)$$

Экспериментально получено потенциально возможное разрешение, равное 0,14 мм, или 7 линий на миллиметр, при плотности потока мощности сцены 0,445 мкВт/см<sup>2</sup> (рис. 1). Эта плотность потока энергии соответствует освещённости 0,8 лк. Т. е. сигнал, снятый с одного пикселя матрицы, обеспечивает разрешение 0,14 мм при освещённости 0,8 лк.

Чтобы получить изображение при меньших уровнях освещённости, необходимо интегрировать полезный сигнал с группы пикселей, что ухудшает разрешающую способность фотоаппарата.

На рис. 2 показано изображение объекта с минимальной шириной линий 1,2 мм, где разрешающая способность ухудшилась в 10 раз, т. е. уровень сигнала увеличен в 100 раз. При этом уровень освещённости сцены уменьшился всего лишь в 5 раз до 0,16 лк. Глазом изображение не распознавалось, хотя информация о сцене сохранилась.

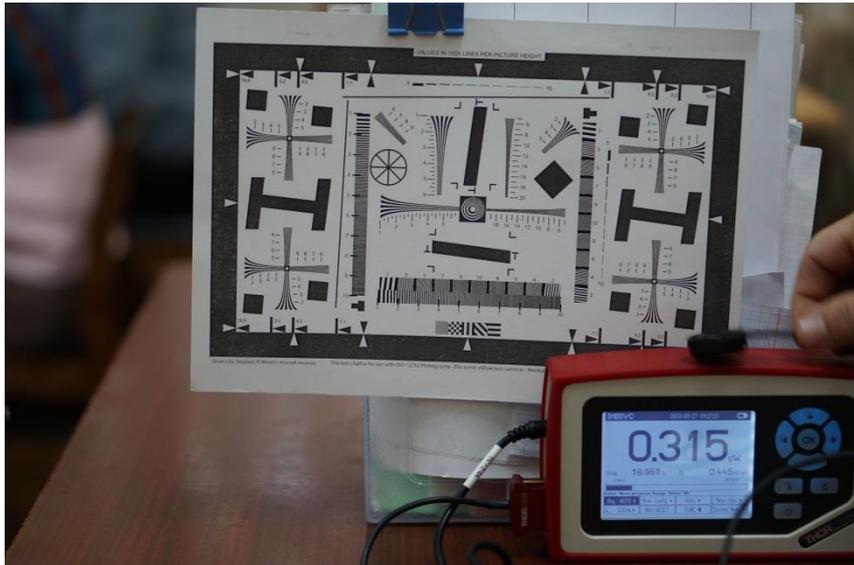


Рис. 1. Изображение миры, полученное при освещённости 0,8 лк



Рис. 2. Изображение тест-объекта при освещённости сцены 0,16 лк без обработки

Для улучшения качества изображения, полученного при низкой освещённости, использовалась программа ImageJ 1.50i [1]. Алгоритм обработки следующий: Image → Adjust → Brightness/Contrast, Auto, Apply; Process → Binary → Make Binary; Process → Noise → Despeckle; Process → Noise → Remove Outliers → Radius 2.0, Threshold 50, Which outliers Bright; Process → Binary → Dilate; сохранить в BMP.

Обработанное изображение показано рис. 3.



Рис. 3. Обработанное изображение тест-объекта при освещённости сцены 0,16 лк

**Заключение.** При дальнейшем уменьшении освещённости появлялась мозаичность обработанного изображения (шумы матрицы), и вероятность распознавания изображения была уже недостаточно высокой при освещённости 0,07 лк. Этот результат соответствует оценкам, равным 0,1 лк, полученным в [2, 3].

#### **Список литературы**

1. ImageJ Image Processing and Analysis in Java : сайт. – URL: <https://imagej.nih.gov/ij/> (дата обращения: 14.09.2021).
2. Комплексы с беспилотными летательными аппаратам : в 2 кн. / Под ред. В. С. Вербы, Б. Г. Татарского. – Москва: Радиоэлектроника, 2016. – Кн. 1. – 504 с.
3. Меньшаков Ю. К. Теоретические основы технических разведок / Ю. К. Меньшаков. – Москва: ИПЦ Маска, 2017. – 640 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОМОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ СПЛОШНОЙ ЗАЩИТЫ В ФОРМЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА

**Панюшкин Н.Н.<sup>1</sup>**, д-р. техн. наук, доц.,

**Бирюкова И.П.<sup>2</sup>**, канд. пед. наук, доц.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет  
им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

<sup>2</sup>ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, РФ

*npran@yandex.ru*

**Введение.** Выбор оптимальной конструкции защит и точность прогнозирования дозовой нагрузки электрорадиоизделий (ЭРИ) радиоэлектронной аппаратуры (ЭРИ) в немалой степени определяет долговечность и надежность космических аппаратов (КА) в целом. Расчет локальной дозовой нагрузки (ЛДН) для ЭРИ производится на основании данных представляемых, как правило, в техническом задании (ТЗ) на разработку изделия для конкретных условий эксплуатации. Эти данные представляют для защит типовой формы: сплошной сферы или полубесконечной плоскости. Роль защиты в РЭА выполняют кожухи, имеющие, чаще всего, форму прямоугольного параллелепипеда. Грани параллелепипеда являются плоскими ограничивающимися поверхностями. Поэтому необходимы модели для ЛДН при переходе от типовых форм защит к сплошным защитам с плоскими ограничивающимися поверхностями.

**Основная часть.** Разработанная макромодель ЛДН основана на модели эффективной толщины плоского экрана [1] и представляет собой систему уравнений

$$D(\langle d \rangle) = \frac{(\alpha_{MAX} + \beta_{MAX})}{4\pi} \sum_{i=1}^M (\xi_i \cdot e^{-\mu_i \langle d \rangle} + \chi_i); \quad (1)$$

$$\alpha_{MAX} = \arctg \left( \frac{x_{MAX}}{l_0} \right);$$

$$\beta_{MAX} = \arctg \left( \frac{y_{MAX}}{l_0} \right);$$

$$\langle d \rangle = \rho \cdot \delta_0 \cdot k_{EFF};$$

$$k_{EFF} = \frac{l_0^2}{x_{MAX} y_{MAX}} \int_0^{\alpha_{MAX}} \int_0^{\beta_{MAX}} \frac{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta}}{\cos^2 \alpha \cos^2 \beta} d\alpha d\beta,$$

где  $M$  – количество видов ИИ, в нашем примере  $M=2$  (электроны и протоны);  $\alpha_{MAX}, \beta_{MAX}$  – максимальные значения угла в основании телесного угла плоской ограниченной защиты в направлении осей  $ox$  и  $oy$  соответственно;  $x_{MAX}=a, y_{MAX}=b$  – размеры плоской ограниченной защиты в направлениях осей  $ox$  и  $oy$  соответственно;  $\zeta_j, \mu_j, \chi_j$  – параметры аппроксимации ЛДН для защиты в форме сплошной сферы для  $j$ -го вида ИИ (определяются по справочным данным, которые приводятся в ТЗ на разработку);  $\langle d \rangle$  – усредненное значение массовой толщины барьера защиты;  $\delta_0, \rho$  – толщина и плотность материала барьера защиты соответственно ( $\rho=\rho_{Al}=2800 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ );  $l_0$  – расстояние от поверхности защиты до расчетной точки;  $k_{EFF}$  – безразмерный коэффициент, учитывающий отличие усреднённого значения величины защиты барьера от  $\delta_0$ .

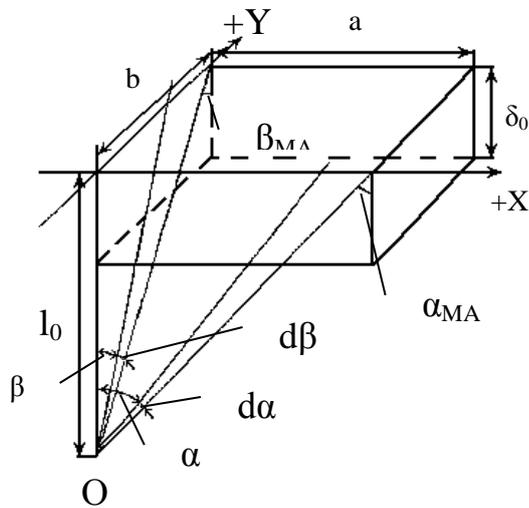


Рис. 1. Плоская ограниченная защита

На основе этой макромодели можно определить ЛДН для сплошной защиты в форме прямоугольного параллелепипеда  $D_{\Sigma}$  если учесть, что каждая из граней состоит из четырех плоских ограниченных защит

$$D_{\Sigma} = 4 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N D_{i,j} \quad (2)$$

где  $j=1..N$  – количество телесных углов равное количеству граней параллелепипеда. В нашем примере  $M=2$  (электроны и протоны),  $N=6$ , по числу граней.

На рис. 2 представлены результаты расчета ЛДН внутри сплошной алюминиевой защиты в форме прямоугольного параллелепипеда для различных значений толщины барьера  $\delta_{0j}=2, 4, 6, 8$  мм. Внутренние размеры горизонтальных ребер ( $a=b$ ) изменялись в пределах от 1 до  $10^4$  мм. Внутренние размеры вертикальных ребер ( $d$ ) изменялись от 10 мм до 1000 мм таким образом, что внутренний размер параллелепипеда оставался неизменным. Расчет ЛДН для годового срока эксплуатации проводился для случая совместного воздействия электронов и протонов на орбите

высотой 400 км от поверхности Земли [2]. Значения параметров аппроксимации:  $\xi_e=7,3$ ;  $\xi_p=76,2$ ;  $\mu_e=3,6$ ;  $\mu_p=1,5$ ;  $\chi_e=40,7$ ;  $\chi_p=40,5$ .

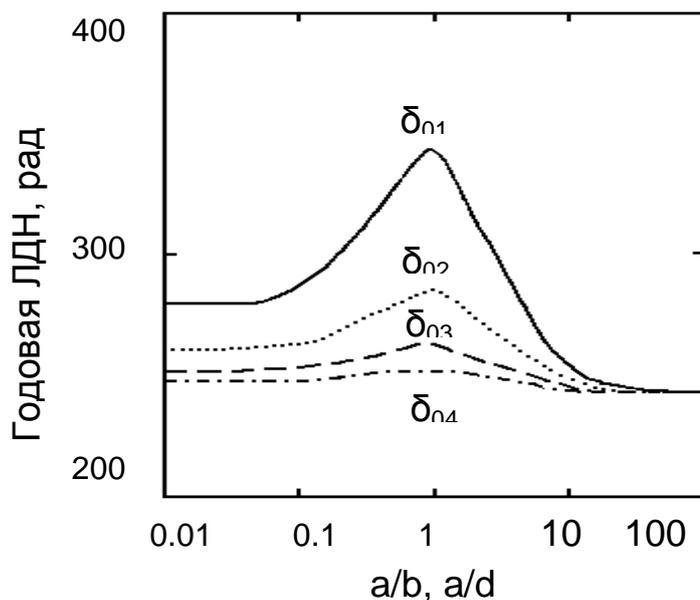


Рис. 2. Зависимость ЛДН электронно-протонного излучения в центре сплошной защиты в виде прямоугольного параллелепипеда от отношения размеров ребер ( $\delta_{01}=2$  мм;  $\delta_{02}=4$  мм;  $\delta_{03}=6$ ;  $\delta_{04}=8$  мм)

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- величина ЛДН зависит от формы параллелепипеда. Наибольшее значение ЛДН соответствует форме куба;

- полученные результаты хорошо согласуются с данными ТУ. Для толщины барьера  $\delta_{0j}=4$  мм приближение сплошной сферы даёт годовое значение ЛДН  $D_{\Sigma}=300$  рад, а расчет по разработанной модели для куба даёт  $D_{\Sigma}=280$  рад. То есть погрешность составляет около 7 %.

**Заключение.** Использование предлагаемой модели позволит оперативно проводить оценку ЛДН для различных конструкций кожухов РЭА с целью выбора оптимального варианта.

### Список литературы

1. Панюшкин А. Н. Эффективная толщина плоского экрана / А. Н. Панюшкин, Н. Н. Панюшкин, А. Г. Самойлов // Проектирование и технология электронных средств. – 2019. – № 4. – С. 38-42.
2. Панюшкин Н. Н., Панюшкин А. Н. Отчет о ОКР «Аппаратура управления НА «Перспектива -МСТ», «Расчет радиационной стойкости» ЦСКЛ.411733.006PP7-2018. – 51 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОТИВОТОЧНЫХ ТЕЧЕНИЙ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

**Пшеничный К.А., Толстых В.К.**, д-р физ.-мат. наук, проф.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» г. Донецк, ДНР  
*mail@tolstykh.com*

В теплообменных аппаратах течения теплоносителей могут сопровождаться фазовыми переходами в виде закипания и полного испарения. Для моделирования таких течений используется метод выделения границ начала и конца кипения. В данной работе рассматриваются одномерные, нестационарные течения противоточных теплоносителей в теплообменном аппарате, которые разделены абсолютно теплопроницаемой стенкой [1,2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial \tau} + \nu_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} &= -\frac{q}{c_{p1}\rho_1}, & \frac{\partial T_2}{\partial \tau} - \nu_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} &= \frac{q}{c_{p2}\rho_2}, \\ \frac{\partial \rho_1 \nu_1}{\partial x} &= 0, & \frac{\partial \rho_2 \nu_2}{\partial x} &= 0, \\ \Phi_1 &= 0, & \Phi_2 &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $\tau \in [0, T]$  – время,  $x \in [x_a, x_b]$  – продольная координата,  $T(x, \tau)$  – температура,  $\nu(\rho)$  – скорости потоков,  $q = kdF(T_1 - T_2)/dV$  – удельный тепловой поток,  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $dF$  – элементарная площадь теплового взаимодействия потоков объёмом  $dV = Sdx$  с элементарной длиной  $dx$  и площадью поперечного сечения  $S$ ,  $c_p(T)$  – удельная теплоемкость,  $\rho$  – плотность теплоносителей,  $\Phi$  – функция состояния теплоносителя.

В жидком и газообразном состоянии плотность  $\rho$  это функция состояния  $\Phi = \Phi(p, \rho, T)$ . В парожидкостном состоянии (кипение)  $\Phi = \Phi(p, \rho, Q)$  зависит от количества теплоты  $Q$ , расходуемого на совершение фазового перехода жидкость-пар.

Граничные условия для уравнений тепломассопереноса имеют вид:

$$\begin{aligned} T_1|_{x_a} &= T_{1a}, & T_2|_{x_b} &= T_{2b}, \\ \rho_1 \nu_1|_{x_a} &= C_1, & \rho_2 \nu_2|_{x_b} &= C_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $C_1, C_2$  – известные потоки теплоносителей на соответствующих границах.

Начальные условия:

$$T_1|_{t=0} = T_{10}, \quad T_2|_{t=0} = T_{20}. \quad (3)$$

Рассматривается теплообменный аппарат, первая среда – воздух, а вторая – жидкий кислород, который в процессе течения закипает и превращается в газ.

С момента начала кипения  $\tau_{start}$  и до полного испарения  $\tau_{finish}$  кислорода его теплоемкость  $c_{p2} = \infty$ .

Ячейка жидкого кислорода в начале кипения имеет массу  $m_{2l}(x, \tau_{start}) = \rho_{2l} \Delta V_2$ . В этой ячейке в процессе кипения в течении времени  $\Delta \tau$  часть массы жидкой фракции кислорода  $\Delta m_{2l}(x, \tau)$  превращается в пар за счёт теплоотдачи от воздуха к кислороду.

Известно [3,4], что в двухфазном состоянии коэффициент теплоотдачи резко возрастает на три-четыре порядка. Согласно закону Ньютона-Рихмана, количество теплоты определяется выражением:  $Q = \alpha_2 (T_1 - T_{2boil}) \Delta F$ , где  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи для кипящей парожидкостной смеси.

Для рассматриваемой ячейки уравнение баланса расхода тепла на совершение фазового перехода:  $\Delta Q(x, \tau) = \Delta m_{2l}(x, \tau) L_2 / \Delta \tau$ , где  $L_2$  – скрытая теплота фазового перехода для кислорода. Тогда масса жидкой фракции, которая превратилась в газ:

$$\Delta m_{2l}(x, \tau) = \frac{\alpha_2 (T_1(x, \tau) - T_{2boil}) \Delta F \Delta \tau}{L_2}.$$

Выражение для расчёта плотности кипящего кислорода:

$\rho_2 = \rho_{2g} + \frac{\rho_{2l} - \rho_{2g}}{\rho_{2l}} \frac{m_{2l}(x, \tau)}{\Delta V_2}$ , где  $\rho_l$  и  $\rho_g$  – известные плотности жидкости и газа на границах кипения. Масса оставшейся жидкости фракции:

$m_{2l}(x, \tau) = m_{2l}(x, \tau_{start}) - \sum_{\tau_{start}}^{\tau} \Delta m_{2l}(x, \tau)$ , а скорость кипящей ячейки

кислорода:  $u_2 = C_2 / \rho_2$ .

Расчеты проводились для кожухотрубного противоточного теплообменного аппарата. Длина теплообменной поверхности определялась координатами  $x_a = 0$ ,  $x_b = 9$ м. Площадь поперечного сечения потока воздуха  $S_1 = 0,53 \text{ м}^2$ , кислорода  $S_2 = 0,18 \text{ м}^2$ . Общая площадь взаимодействия потоков  $F = 960 \text{ м}^2$ . Расчётная сетка задавалась значениями  $\Delta x = 0,045$ м и  $\Delta \tau = 0,0009$ .

Кипение кислорода исследовалось при  $\alpha_2 = 10^4 \text{ Вт} / \text{ м}^2 \text{ К}$  и  $\alpha_2 = 60 \cdot 10^3 \text{ Вт} / \text{ м}^2 \text{ К}$ .

Рис. 1 – это температура воздуха  $T_1$  и кислорода  $T_2$  в конце переходного процесса. Точки на кривых  $T_2$  выделяют зоны кипения кислорода.

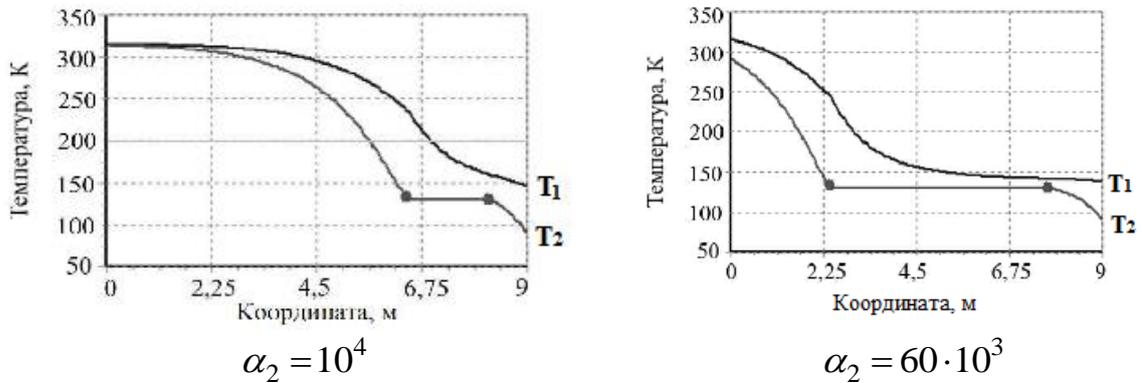


Рис. 1. Конечные температуры потоков

Рис. 2 – это пространственные границы зоны кипения кислорода.

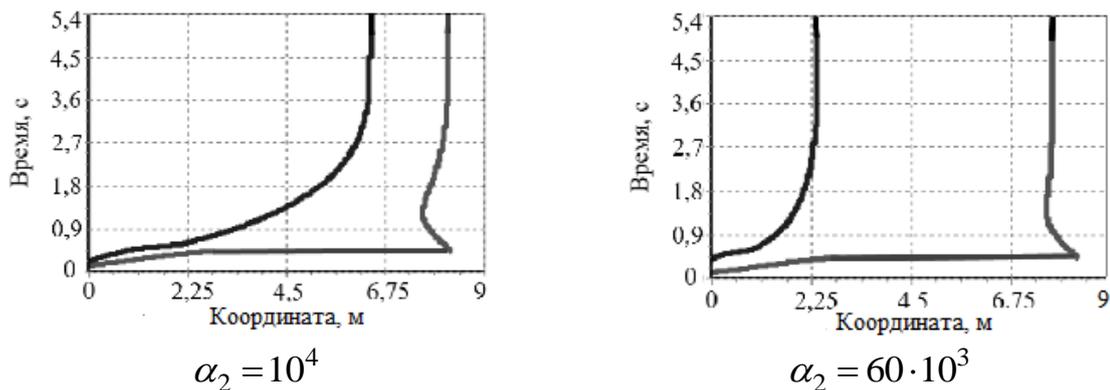


Рис. 2. Границы кипения кислорода

Из рис. 1, 2 видно, что коэффициент теплоотдачи  $\alpha_2$  существенно влияет на ширину зоны парожидкостной смеси и на распределение температур обоих потоков теплоносителей.

### Список литературы

1. Толстых В. К., Пшеничный К. А. Математическое моделирование нестационарных тепловых процессов в противоточных теплообменных аппаратах / В. К. Толстых, К. А. Пшеничный // Вестн. Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2020. – № 51. – С. 55–62.
2. Крейт Ф., Блек У. Основы теплопередачи: Пер. с англ. / Ф. Крейт, У. Блек. – М.: Мир, 1983. – 512 с.

## ОЖИДАЕМЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Стародубцева В.А.*

МБОУ «Гимназия №33 г. Донецка», г. Донецк, ДНР

*maloidj2008@mail.ru*

**Введение.** В ближайшем будущем ожидается производство новых компьютерных технологий, которые значительно упростят учебный процесс в образовательных учреждениях.

**Основная часть.** В данной статье представлен список ожидаемых компьютерных технологий, использование которых возможно в рамках учебного процесса.

1. **Компьютерное зрение** – область искусственного интеллекта, способная анализировать изображения и видеофайлы [3]. Данная технология содержит в себе совокупность методов, позволяющих компьютеру:

- 1) получить информацию;
- 2) идентифицировать информацию;
- 3) классифицировать объекты;
- 4) демонстрировать реакцию на происходящее.

В ее состав входят фото- и видеокамеры, а также специализированное программное обеспечение.

В учебном процессе компьютерное зрение может применяться при выполнении, к примеру, следующих работ:

- 1) перевод текста на предпочитаемый язык с помощью Google Translate, осуществляемый через сканирование камеры смартфона;
- 2) создание программных решений и сервисов с применением технологий, производимых VisionLabs;
- 3) изучение объектов окружающего мира в формате 3D-изображений с помощью жестов ManoMotion, используя обычную 2D-камеру без дополнительного оборудования;
- 4) распознавание объектов окружающего мира в реальном времени (отслеживание движений, анализ окружения, определение положения, анализ его химического состава и др.) с помощью линзы фотокамеры, используя процессор Qualcomm Snapdragon 821.

Таким образом, компьютерное зрение конкурирует с человеческим и в большинстве случаев превосходит человеческие визуальные способности.

2. **Компьютерные симуляторы** – компьютерные технологии, ключевая задача которых заключается в совершенствовании умений действовать в условиях неопределенности, когда цена ошибки довольно высока.

Учебный процесс может быть построен в форме испытания, а испытание – как игра (к примеру, линейный сотрудник банка получает в

виртуальном пространстве возможность управляет всеми его активами, что способствует изучению банковской системы «изнутри»).

Область применения компьютерных симуляций в рамках учебного процесса следующая:

1) экспериментальная деятельность – проведение опытов, которые: а) невозможны; б) недопустимы; в) опасны для жизни (к примеру, изменение генома человека);

2) оказание доврачебной медицинской помощи;

3) эвакуация из образовательного учреждения при чрезвычайных обстоятельствах.

Таким образом, компьютерные симуляторы с минимальным риском и максимальной эффективностью способствуют быстрому внедрению инноваций, продуктивному обучению, совершенствованию навыков, минимизации рисков, быстрому принятию решений, экономии бюджета, получению объективных оценок.

**3. STEM-образование** – подход к образовательному процессу, включающий в себя практическое сочетание науки, технологий, инженерии и математики [2].

Эффективность использования данного метода заключается в его простой и доступной визуализации научных явлений, позволяющей продуктивно осваивать практические знания, особенности работы с технологиями, детально изучать и понимать естественные процессы.

Основные особенности STEM-образования:

1) обучающиеся самостоятельно находят решения на конкретные реальные задачи, применяя соответствующие практические навыки;

2) возможность полностью погрузиться в течение определенных процессов, более детально изучая их природу и характерные признаки;

3) работа в коллективе;

4) проектирование конкретных объектов;

5) визуализация учебного процесса

**Заключение.** Отмечаем, что использование новейших компьютерных технологий имеет еще большие перспективы, поскольку дает возможность сочетать изучение базовых наук с творческим подходом и нестандартными решениями, помогая детям лучше развивать абстрактное мышление и воображение.

### Список литературы

1. Калиткин М. STEM-образование: что это и почему о нем все говорят / М. Калиткин. 24.02.2020. URL: <https://tsn.ua/ru/blogi/themes/zhittya/stem-obrazovanie-cto-eto-i-rochemu-o-nem-vse-govoryat-1496991.html>
2. Митрофанов К. Г., Зайцева О. В., Применение инновационных компьютерных технологий в сфере образования: основные аспекты и тенденции / К. Г. Митрофанов, О. В. Зайцева // Вестник. – 2009. – Выпуск 10(88). – С.64-68.
3. Цифровые сквозные технологии // cdto.wiki. URL: [https://cdto.wiki/Нейротехнологии\\_и\\_Искусственный\\_интеллект\\_\(ИИ\)/Компьютерное\\_зрение](https://cdto.wiki/Нейротехнологии_и_Искусственный_интеллект_(ИИ)/Компьютерное_зрение)

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТОЙ ДЕТАЛИ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Сушко Т.И.*, канд. техн. наук, доц., *Караев Р.Ш.*,

*Болдырева Я.А.*, канд. физ.-мат. наук

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*tane2020102010@mail.ru*

**Введение.** Реальные объекты рассматривают как системы в современной методологии моделирования, в котором «модель» это система, заменяющая исследуемый объект (прототип). При изучении, прототипа можно получить информацию о другой системе, являющейся оригиналом. Исследование процессов или систем прототипов путем построения и изучения их моделей называется моделированием. Посредством трехмерного моделирования визуализируют реальный технологический процесс изготовления деталей (отливок) с технологической картой и рекомендациями по его совершенствованию. Трехмерное моделирование дублирует реальный технологический процесс изготовления отливки, характеризующийся последовательностью выполняемых действий и алгоритмом создания детали, посредством которых собираются технические комплекты, в том числе и летательные аппараты. В процессе моделирования задаются граничные условия, размеры отливки и оснастки, геометрические соотношения между элементами [1], которые и определяют качество получаемой отливки. Устранение возможных ошибок, дефектов литья в отливке в процессе разработки конструкции питания и отдельных узлов достигается путем имитационного моделирования, происходящих в отливках физических явлений, с помощью которых воспроизводятся тепловые, гидродинамические, усадочные, фильтрационные, деформационные и т. п. процессы на экран монитора. Поэтому решение вопросов автоматизации литейных процессов, создания системы для решения геометрических задач (группирования геометрического моделирования и расчетных программ в интегрированные системы), является весьма актуальной задачей машиностроения.

**Основная часть.** На рис. 1 представлен алгоритм проектирования отливки, реализующий подход к системе автоматизированного проектирования (САПР) на основе создания моделей, моделирование процессов заполнения отливки металлом и корректировки технологии. Для изучения САПР отливки и создания геометрических моделей нами использовалась версия SolidWorks Russia, которая подходит для изготовления прототипов изделий любой сложности и система компьютерного моделирования (СКМ) LVM Flow Russia на основе метода контролируемого объема Control Volume (CVM). Приложения этой системы



заливки расплава в форму выбиралось технологом около 12 с. Размер ячейки при расчете порядка 7,00 мм. Геометрические твердотельные модели, конвертируются в формате STL.

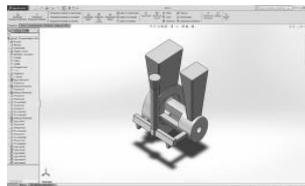


Рис. 3. Трехмерная модель отливки с системой питания до внесения изменений

При наличии литейных дефектов оперативно с перестроением твердотельной геометрии вносились изменения в параметры моделирования, с учетом новой конструкции питания отливки, так и технологических факторов, в данном примере был выбран замен состава формовочной смеси и усилена термическая защита питания отливки – экзотермический обогрев отливки. Процесс оптимизации в данном случае начался с разработки трехмерных моделей утепляющих колпачков. Результаты моделирования с оптимизацией технологического процесса изготовления корпусной детали с минимальными дефектами и лучшим качеством, представлены на рис. 4. Оптимизация позволила получить отливки с отсутствием усадки в недопустимых пределах в теле отливки, сосредоточение закрытой усадочной раковины в подприбыльной зоне, что соответствует критериям качества [3].

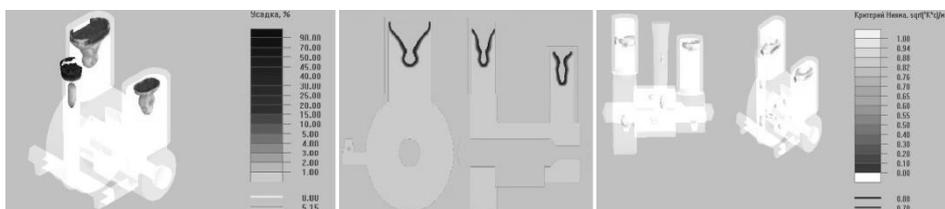


Рис. 4. Дефекты в отливке, при новом варианте

**Заключение.** Таким образом, на основе изучения прототипа отливки, физических процессов на границе металл-форма, показан пример автоматизированного проектирования для решения практических задач в машиностроении.

### Список литературы

1. Монастырский А. В. Внедрение современных методов разработки и оптимизации технологических процессов в литейном производстве / А. В. Монастырский // CAD master. – 2010. – №2. – С. 62-64.
2. Голод В. М. Компьютерный анализ литейной технологии, проблемы, его информационного обеспечения и адаптация к условиям производства / В. М. Голод // Вестник Удмуртского университета. – Ижевск, 2008. – Вып.1. – С. 68-86.
3. Сушко Т. И. Компьютерное моделирование физического питания отливок СВС в литье по выплавляемым моделям / Т. И. Сушко, В. В. Турищев, Т. В. Пашнева // Вестник Магнитогорского техн. университета им. Г.И. Носова. – 2018. – №1. – С. 45-53.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОХОЖДЕНИЯ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ С РАСПОЗНАВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ

*Фурсов Д.В., Бондаренко В.И.*, канд. техн. наук  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*19fursik99@gmail.com*

**Введение.** Управление качеством образования и улучшение контроля является одним из главных направлений реформирования системы образования. Вместе с имеющимся контролем результатов обучения и классической системой оценивания начала складываться новая эффективная система, основанная на использовании тестовых технологий. Данная потребность была обусловлена получением объективной независимой информации об учебных результатах студентов, а также итогах деятельности организации.

Аналогичная объективная информация служит фундаментом для анализа итогов обучения, прогнозирования уровня достижения государственного стандарта и средством проектирования личной преподавательской деятельности с конкретными студентами.

**Актуальность.** Тема контроля за уровнем умений, знаний и навыков студентов – извечный вопрос образования. В разные времена создавались различные оценивающие системы, использовались то одни формы оценивания, то другие. Тестирование позволяет провести оценку знаний на любом этапе обучения. Применение тестов позволяет сохранить массу времени, проверить широкий спектр знаний обучающихся, уровень определенных навыков и умений.

В связи с пандемией COVID-19, высшие учебные заведения были вынуждены перевести студентов на дистанционное обучение, что усложнило процесс обучения и контроль результатов обучения. Возникла необходимость в использовании новых методов тестирования.

**Целью** исследования является анализ возможных решений для распознавания тестов с последующим автоматическим подсчетом результатов.

**Анализ известных решений для распознавания результатов теста.** Практически во всех известных решениях перевод бланков ответов с бумажного носителя в электронную форму осуществляется путем сканирования бланков ответов.

На сегодняшний день имеется множество отдельных систем и программных комплексов, позволяющих распознавать текстовую информацию.

Выделяют несколько видов таких систем: OCR, ICR, OMR.

OCR система, в процессе анализа, выделяет на изображении «блоки». В качестве «блоков» могут выступить таблицы, рисунки и тексты.

«Блоки» разделяют на более мелкие объекты такие как строки, слова и символы. Затем эти объекты обрабатываются и распознаются. На основе распознанных символов создается аналог исходного документа.

К наиболее распространенным OCR-системам относятся: OmniPage Professional, CuneiForm, ABBYY FineReader.

ICR занимается обработкой «форм». «Формой» называется документ, который имеет фиксированную структуру и предназначен для сбора определенной информации. Бланки и анкеты являются примерами таких «форм». На изображении выделяют некоторые области, которые затем подвергаются обработке. Система не строит исходный документ, а извлекает информацию из областей и передает на хранение.

К ICR-системам относятся такие продукты, как ABBYY FormReader, система потокового ввода данных и обработки документов ABBYY FlexiCapture и другие[1].

OMR проверяет бланки, на которых имеются или отсутствуют отметки, и которые сканируются специализированным OMR устройством.

Многие традиционные OMR устройства работают со специализированным сканирующим устройством, которое направляет луч света на бумагу бланка. Отражательная способность в предопределенных положениях на странице применяется для обнаружения отмеченных областей, потому что они отражают меньше света, чем чистые области бумаги. Некоторые OMR устройства используют бланки, которые предварительно напечатаны на светочувствительной бумаге и измеряют количество света, который проходит через бумагу, таким образом, отметка с обеих сторон бумаги уменьшит количество света, проходящего через бумагу.

К программным продуктам OMR относятся: queXF и Uda! OMR.

**Заключение.** Проанализирована предметная область, а также рассмотрены различные системы для распознавания текстовой информации.

### Список литературы

1. Автоматизация ввода форм // Abby Software House 2003. URL: [http://www.docflow.ru/upload/images/WP\\_FP\\_rus.pdf](http://www.docflow.ru/upload/images/WP_FP_rus.pdf) (дата обращения: 22.12.2020).

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ НОВОСТНЫХ СТАТЕЙ НА ОСНОВЕ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ

*Шарий Т.В.*, канд. техн. наук, *Шестаков Б.И.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*tsphere@mail.ru*

**Введение.** В последние годы текстовое содержимое информационных ресурсов стало важнейшим элементом и инструментом, который SEO-специалисты рекомендуют для продвижения сайтов в поисковых системах. При этом, большой процент информационного сегмента составляют новостные статьи, в том числе публикации, в которых присутствуют числовые показатели (например, обзор финансового рынка за определенный период, обзор последнего тура чемпионата страны по футболу и т.д.). **Целью работы** является исследование проблем, связанных с анализом особенностей и стилистики текста новостных статей вышеописанного типа, публикуемых в сети интернет, и разработка общей модели автоматической генерации новостных текстовых статей на основе структурированных данных.

**Анализ состояния вопроса.** В задачах генерации как текстового контента, так и данных любой другой природы, в данный момент активно применяются глубокие нейронные сети и иные генеративные модели машинного обучения [1]. Их обучение представляет собой очень затратный, ресурсоемкий процесс, частью которого является загрузка текстовых данных, парсинг, стемминг, морфологический разбор и т.д. К сожалению, в большинстве случаев на выходе генерируется текст, довольно легко отличимый от человеческого. На данный момент самой эффективной моделью генерации текста являются т.н. трансформеры – подвид нейронных сетей, состоящий из кодировщика и декодировщика на основе механизма самовнимания [2].

**Общий алгоритм генерации текста.** Алгоритм генерации текста, предлагаемый в работе, основывается на классической цепи Маркова [3], а также анализе дополнительных эвристик. На первом этапе производится заполнение базы данных путем разбора (парсинга) контента из разных источников (случайная выборка веб-сайтов, ссылки на которые выдаются поисковой системой Google по заранее спроектированным запросам). Далее алгоритм разбивает текст из базы данных на слова и заполняет структуру данных «словарь», кодирующую слова-состояния и вероятности переходов (в данном случае их можно также трактовать как вероятности комбинаций слов). Фрагмент такого словаря проиллюстрирован на рис.

Will	: [know: 127]	There	: [is: 436]
Oh	: [the: 245]	High	: [END: 147]
You'll	: [go: 326]	Places	: [you'll: 132]
Go	: [END: 104]	No	: [one: 269]
One	: [alive: 147]	Only	: [you: 463]
If	: [only: 423]	Direction	: [you: 136]
Choose	: [END: 239]	That	: [is: 245, you: 324]
Head	: [End: 124]	Up	: [is: 185]
Than	: [you: 156, true: 236]	Any	: [direction: 179]
Own	: [END: 159]	Your	: [shoes: 165]
Things	: [you: 175]	Left	: [and: 147]
Shoes	: [END: 235]	Learn	: [the: 385]
Feet	: [in: 163]	Alive	: [who: 169]

Рис. Пример содержимого словаря

Работа с данной структурой происходит по общепринятому алгоритму цепи Маркова: у каждого ключа есть список слов, которые могут идти за ним (в том числе, начало текста и его конец; для конца текста это пустое значение). Также у каждого возможного слова есть своя вероятность для создания этой комбинации. Таким образом, алгоритм, начиная с ключа «Start» собирает пары слов, которые выстраиваются в полноценный текст, и заканчивает свою работу на ключе «End». Создание алгоритма и системы в целом производится на языке программирования C# с использованием технологий ASP .NET Core и Angular.

**Выводы.** Предложенный алгоритм генерации текста на основе разнородных данных позволяет создавать текст удовлетворительного качества с точки зрения сходства с человеческим стилем. На текущем этапе работы исследуется вопрос эвристик, касающихся способа внедрения числовых показателей в механизм генерации текста, а также продолжается сбор и подготовка данных для обучения и валидации модели.

### Список литературы

1. Kamath U. Deep Learning for NLP and Speech Recognition / U. Kamath, J. Liu, J. Whitaker. – Springer, 2018. – 649 p.
2. Lane H. Natural Language Processing in Action: Understanding, analyzing, and generating text with Python / H. Lane, H. Napke, C. Howard. – Manning, 2019. – 544 p.
3. Зорин А. В. Введение в общие цепи Маркова: Учебно-методическое пособие / А. В. Зорин [и др.] – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. – 51 с.

## МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЯЖЕСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСХОДОВ ТРАВМАТИЧЕСКОГО ШОКА

*Шрамко В.В., Нестругина Е.С.*, канд. техн. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*shramkovlad1999@yandex.ru*

**Введение.** Одним из наиболее актуальных направлений современной клинической медицины является диагностика пострадавших с тяжёлыми механическими повреждениями, сопровождающимися шоком. В первую очередь это обусловлено тем, что число пострадавших с тяжёлыми травмами весьма значительно и постоянно растёт. Другой важной особенностью является то, что диагноз необходимо поставить в кратчайшие сроки, причем зачастую до принятия решения о транспортировке раненого.

Разработка мобильного приложения реализующего алгоритмы оценки и прогнозирования исходов травматического шока станет весомым подспорьем для врачей, оказывающих неотложную помощь на месте, что особенно актуально в условиях военных конфликтов.

**Целью** данной работы является разработка мобильного приложения для оценки тяжести и прогнозирования исходов травматического шока.

**Основная часть.** Исследование предметной области показало, что на сегодняшний день практически не существует мобильных приложений, которые в полной мере реализуют оценку тяжести и прогнозирования исходов травматического шока. Актуальность данной работы обусловлена постоянным ростом числа пострадавших от тяжелых травм. Исследования показали, что ежегодные потери от травм в 2,7 раза больше, чем от заболеваний сердечно-сосудистой системы и новообразований вместе взятых [1]. С каждым годом ситуация ухудшается. За последние десять лет в РФ уровень травматизма увеличился с 123,0 до 143,6 на 10000 населения, а потребность в госпитализации возросла в три раза [2].

Одной из причин данной тенденции является сложность постановки своевременного диагноза, особенно на месте, где врачи не всегда располагают всем необходимым оборудованием и вынуждены определять степень тяжести повреждения по косвенным признакам. Именно для них будет полезным мобильное приложение, которое позволит им скорректировать выводы о состоянии пациента, опираясь на реализованные в нем формулы оценки и прогнозирования исходов травматического шока, как дополнительные факторы для постановки диагноза.

Для решения проблемы объективной оценки тяжести травмы проводятся многочисленные исследования, в которых уделяется большое внимание поиску независимых прогностических факторов ее исхода, многие из которых включаются в разнообразные балльные шкалы и статисти-

ческие модели, позволяющие количественно типизировать тяжесть травмы в установленных интервалах и рассчитать вероятность выживания.

Общепризнанным считается учитывать анатомические критерии, определяющие тяжесть повреждений, и физиологические параметры, характеризующие ответ функциональных систем организма на полученные повреждения. В качестве независимых факторов риска летального исхода травмы рассматриваются возраст, пол, сопутствующая патология, различные клинические параметры, воспалительные реакции, своевременность диагностики и качество лечения, нуждаемость в оказании различных мероприятий неотложной помощи.

Создано более пятидесяти различных шкал, однако в литературе обсуждаются только наиболее эффективные и простые в применении [3].

Создание универсальной шкалы затруднено многообразием повреждений и нарушений, происходящих в организме после получения травмы, недостаточной изученностью прогностических параметров исхода травмы.

При разработке объективных методов оценки тяжести травм используется один из трех подходов:

1. Анатомический – критерием тяжести является степень выраженности анатомических разрушений тканей и органов.

2. Физиологический – критерием тяжести являются физиологические показатели, такие как артериальное давление, частота сердечных сокращений и т. п.

3. Комбинированный подход использует как анатомические, так и физиологические критерии.

В результате исследования и сопоставления различных методов для автоматизации был выбран комбинированный метод оценки тяжести травмы TRISS (Trauma and Injury Severity Score). Шкала TRISS широко применяется для оценки вероятности выживания пострадавшего. Шкала использует следующие параметры: тяжесть повреждений по шкале ISS, тяжесть общего состояния по шкале RTS и возраст пострадавшего. Оценка производится с применением уравнения логистической регрессии.

Вероятность выживания рассчитывается по формуле (1) [4]:

$$\text{Вероятность выживания} = \frac{1}{1 + e^{-b}} \quad (1)$$

Показатель  $b$  вычисляется по формуле (2).

$$b = b_0 + b_1 (\text{RTS}) + b_2 (\text{ISS}) + b_3 (\text{IB}) \quad (2)$$

где:

- $b_0$ – $b_3$  – коэффициенты уравнения логистической регрессии;
- RTS – сумма баллов по шкале RTS;
- ISS – сумма баллов по шкале ISS;

- ИВ – индекс возраста.

Индекс возраста равен 0, если возраст пострадавшего < 54 года, если же возраст пострадавшего  $\geq 54$  года, индекс возраста равен 1. Коэффициенты b0, b1, b2 и b3 отличаются в зависимости от характера травмы [5].

На сегодняшний день шкала TRISS считается наиболее точной, существенно улучшая результат использования анатомических и физиологических шкал по отдельности, а также превосходя шкалу ASCOT в простоте вычисления. Вышесказанное послужило причиной выбора именно этой шкалы как основы для разработки мобильного приложения для оценки тяжести и прогнозирования исходов травматического шока. Стоит отметить, что в процессе разработки данная шкала может быть модифицирована при помощи современных технологий, что позволит улучшить результат оценки и прогнозирования.

**Заключение.** Оценка тяжести и прогнозирования исходов травматического шока – важная задача современной медицины. Данная работа, включающая исследование методов оценки тяжести травм, разработку алгоритма оценки и прогнозирования, а также автоматизацию процесса оценки посредством мобильного приложения, позволит еще на шаг приблизиться к решению проблемы диагностики тяжести травмы и прогнозирования выживаемости пострадавшего.

### Список литературы

1. Ермолов А. С. Основные принципы диагностики и лечения тяжелой сочетанной травмы / А. С. Ермолов // 50 лекций по хирургии: под. ред. В. С. Савельева. – М.: «Триада-Х», 2004. – С. 540-548.
2. Андреева Т. М. Травматизм в Российской Федерации в начале нового тысячелетия / Т. М. Андреева, Е. В. Огрызко, И. А. Редько // Вестн. травматологии и ортопедии. 2007. – № 2. – С. 59-63.
3. Селиверстов П. А. Оценка тяжести и прогнозирования исхода политравмы: современное состояние проблемы (обзор) / П. А. Селиверстов, Ю. Г. Шапкин // Современные технологии в медицине 2017. – № 9 (2) – С. 207–218.
4. de Munter L., Polinder S., Nieboer D., Lansink K.W.W., Steyerberg E.W., de Jongh M.A.C. / Performance of the modified TRISS for evaluating trauma care in subpopulations / A cohort study. Injury. – 2018. – Vol. 49, No 9. – С. 1648–1653.
5. Lam S. W., Lingsma H. F., van Beeck E. F., Leenen L. P. Validation of a base deficit based trauma prediction model and comparison with TRISS and ASCOT / Eur. J. Trauma. Emerg. Surg. – 2016. – Vol. 42, No 5. – С. 627–633.

## СОДЕРЖАНИЕ

### **Физика неравновесных процессов**

<i>Асланов П.В., Фоменко С.А., Манзенюк Е.Н.</i> Повышение эффективности гидро-струйной резки конструкционных материалов .....	5
<i>Беззуб А.А.</i> Разработка энергосберегающего режима нагрева шлака при внепечной обработке стали .....	7
<i>Бодряга В.В.</i> Задача определения рациональной высоты кристаллизатора в установке непрерывного литья алюминия .....	10
<i>Бодряга В.В., Недопекин Ф.В.</i> Определение рационального размера капли воды при подавлении выбросов азотно-водным аэрозолем .....	12
<i>Соколов К.И., Подрухин А.А., Чуяшенко С.В.</i> Измельчение материалов методом гидростатической обработки .....	14
<i>Финошин Н.В., Попова А.Е., Рыжков Е.Е.</i> Экспериментальное определение коэффициентов полного гидродинамического сопротивления в трубопроводе с периодически изменяющимся поперечным сечением (ТПИПС) .....	17

### **Стандартизация и метрология**

<i>Полякова А.В.</i> К вопросу о необходимости формирования государственной системы стандартизации в Донецкой Народной Республике .....	21
<i>Пометун Е.Д., Лебедев В.Н.</i> Комбинированный стенд для лабораторных работ по метрологии .....	24
<i>Романчук С.М., Силенко Е.М., Силенко С.Е., Казакова В.Е.</i> Выбор электроизоляционного покрытия электромагнитного преобразователя скорости потока жидкости .....	26
<i>Славко А.А., Асланов П.В., Бондаревский-Колотий В.А.</i> Совершенствование протокола контроля эксплуатационных параметров рентгенодиагностических аппаратов .....	28
<i>Стаценко А.С., Шурай П.Е., Шурай С.П.</i> Аудит поставщиков как эффективный инструмент управления качеством .....	31
<i>Ходыревская С.В., Раевская М.П.</i> Совершенствование процесса производства медицинского стекла посредством стандартизации .....	35

### **Прикладная экология**

<i>Александрова А.А., Сердюк А.И.</i> Проблемы использования возобновляемых источников энергии .....	38
<i>Барбашова М.В., Карпинец А.П.</i> Физические принципы, физико-химические процессы образования нефти, природного газа и возобновляемости их запасов .....	41
<i>Белецкий Я.О., Сердюк А.И.</i> Способы переработки химических источников тока .....	44
<i>Васильева М.А.</i> Разработка мероприятий по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий для предприятий I, II, III категории .....	46

<i>Григорьев Е.С., Полянский А.А.</i> Пьезоэлектрики в альтернативных источниках энергии .....	49
<i>Громенко В.О., Рублева Л.И., Алёхов Ю.А., Светлаков О.Ю., Журавлев С.В.</i> Разработка и особенности технологического процесса утилизации цинковой изгари для синтеза жидких хелатных микроудобрений.....	51
<i>Калининихин О.Н., Вишнякова А.Н.</i> Совершенствование системы транспортировки твердых коммунальных отходов .....	54
<i>Кандаева И.В., Тарасенко В.А.</i> Пылеподавление на угольных шахтах как необходимый фактор сохранения жизни и здоровья работников .....	57
<i>Кишкань Р.В., Шатохин П.А.</i> Обращение с отходами – время инноваций.....	61
<i>Прилишко С.Ю., Кудрявцев Ю.А., Брюханова И.И., Головань Г.Н., Глазунова В.А., Бурховецкий В.В.</i> Керамика с пористой структурой как фильтрующий материал для очистки шахтных вод.....	64
<i>Тишанинов И.А., Баулин Н.К.</i> Анализ состояния переработки и рециклинга техники в Российской Федерации и за рубежом.....	67
<i>Шестакин Н.С.</i> системный подход к формированию цифровой платформы спутникового мониторинга экологической, климатической, техносферной и продовольственной безопасности Донбасса .....	69
<i>Щепина Н.Д., Рублева Л.И., Громенко В.О., Капитанчук Е.Ю., Удодов И.А.</i> Оценка экологической безопасности применения продуктов комплексной переработки цинковой изгари.....	72

### ***Теоретическая физика и нанотехнологии***

<i>Беличко Д.Р., Константинова Т.Е., Малецкий А.В., Волкова Г.К.</i> Образование гибридных компонент в структуре керамики на основе YSZ .....	75
<i>Галинский М.К., Румянцев В.В., Федоров С.А.</i> Математическое моделирование структуры электромагнитного пространственно-временного волнового пакета методом обратной задачи.....	78
<i>Глухова Ж.Л., Щеголева Т.А.</i> Обобщенные уравнения диффузионного переноса водорода в металлах .....	81
<i>Грибанов И.Ф., Нырков Н.Ю., Андрейченко Е.П., Ковалев О.Е.</i> Магнитное поведение магнитокалорического сплава $MnNi_{0.85}Co_{0.15}Ge_{1.05}$ под давлением.....	83
<i>Изотов А.И., Кильман Г.В., Сироткин В.В., Шалаев Р.В.</i> Анизотропия проводимости в графитоподобных пленках.....	86
<i>Лихтенштейн И.Я., Шемченко Е.И., Петренко А.Г.</i> Структура и механизм роста многослойных углеродных нанотрубок в пленках нитрида углерода, легированных оксидом европия .....	88
<i>Метлов Л.С., Гордей М.М.</i> Неравновесная эволюционная термодинамика двухкомпонентных сплавов при интенсивной пластической деформации .....	91
<i>Михайлов В.И., Тарасенко Т.Н., Кравченко З.Ф., Ковалев О.Е.</i> Концентрационные зависимости намагниченности композиционных мультиферроиков $(1-x)BiFeO_3-xRmO_3$ ( $R = Sc, Y$ ) .....	94
<i>Николаенко Ю.М., Эфрос Н.Б.</i> Оптимизация процедуры термообработки $La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_{3-\delta}$ пленок разной толщины на подложках $NdGaO_3$ .....	97

<i>Паладян Ю.А., Федоров С.А., Румянцев В.В.</i> Распространение света в неидеальном 1d фотонном кристалле.....	99
<i>Петренко А.Г., Сухорукова Т.Ф.</i> Влияние внешних полей на физические свойства перовскитов.....	102
<i>Пилипенко Е.А., Горбенко Е.Е.</i> Температура Дебая сжатого ГЦК-Ne в модели деформируемых атомов.....	105
<i>Пойманов В.Д.</i> Генерация обменных спиновых волн магнитным слоем при наличии неоднородного релятивистского обмена Дзялошинского.....	108
<i>Полищук В.С., Пересаdченко А.Н., Алехов Ю.А., Волошанович И.Н., Мищенко А.Г.</i> Анизотропные магнитно-абразивные порошки.....	111
<i>Рыбалка А.Е., Федоров С.А., Румянцев В.В.</i> Влияние однородной деформации на скорость распространения поляритонных возбуждений в неидеальной цепочке микропор.....	114
<i>Самойленко З.А., Ивахненко Н.Н., Пушенко Е.А.</i> Перестройка атомной структуры $Bi_{1-x}Y_xFeO_3$ от изменения концентрационного состава.....	117
<i>Сирюк Ю.А., Безус А.В., Бондарь Е.Д., Кононенко В.В.</i> Фазовые переходы в доменной структуре магнитоодноосной пленки феррита-граната.....	120
<i>Сухорукова О.С., Тарасенко А.С.</i> Эластодипольный механизм формирования динамических эффектов в акустически сплошных магнитных структурах.....	122
<i>Тарасов Д.П., Толкачев Т.А.</i> Магнитные свойства нанокomпозитов системы $CO_x(PZT)_{100-x}$ .....	125
<i>Токий Н.В., Токий В.В.</i> Изменения энергии от положения анионной вакансии в (100) пластинах анатаза разной толщины.....	127
<i>Токий Н.В., Токий В.В.</i> Энергия расширенной (100) пластины анатаза с анионной вакансией.....	130
<i>Хачатурова Т.А., Бутько В.Г., Гусев А.А.</i> Запрещённая зона тетрагональной модификации диоксида кремния.....	133
<i>Хачатурова Т.А., Бутько В.Г., Гусев А.А.</i> Запрещённая зона тригональной и кубической модификаций диоксида кремния.....	136
<i>Христов А.В., Червинский Д.А., Шелест В.В.</i> Связь термодинамической устойчивости фазового состояния конденсированной среды с акустикой.....	138
<i>Червинский Д.А., Шелест В.В.</i> Особенности применения внешних дифференциальных форм в термодинамике.....	141
<i>Эфрос Н.Б., Филиппов А.Э., Николаенко Ю.М.</i> Влияние механически напряженного состояния тонких пленок на диффузионный транспорт кислорода.....	145
<i>Якименко М.Н., Недёркин В.В., Зедоми Т.Э.</i> Использование наноразмерных частиц на основе фтора.....	148

### **Радиофизика и инфокоммуникационные технологии**

<i>Бабичева М.В., Белик Т.В.</i> Атаки на алгоритм Диффи-Хелмана.....	151
<i>Данилов В.В., Тимченко В.И.</i> Автоматизированные системы научных исследований параметров устройств на поверхностных акустических волнах.....	154
<i>Долбеценкова Н.В., Яновский А.В.</i> Передача информации при помощи акустического канала.....	157

<i>Жинкина А.С., Джанджгава К.Г., Третьяков И.А.</i> Уязвимости радиочастотной идентификации в системах безопасности.....	160
<i>Кожекина Е.Н., Гайван Б.В.</i> Работа облачных технологий на тестируемом WEB сервере.....	163
<i>Кожекина Е.Н., Мышкин А.Е.</i> Распознавание речи с помощью нейронных сетей ..	165
<i>Костенков В.С., Данилов В.В., Тимошенко Н.А.</i> Особенности реализации автоматизированной информационной системы по проверке подлинности документов.....	166
<i>Куринный Ф.А.</i> Анализ и исследования известных генераторов псевдослучайных последовательностей для формирования ключей авторизации доступа беспроводных телекоммуникационных систем и сетей.....	169
<i>Малашенко В.В., Гладкая А.Д., Малашенко Т.И.</i> Особенности скоростной зависимости динамического предела текучести состаренных сплавов в условиях лазерного облучения.....	173
<i>Рушечников Я.И.</i> Алгоритм интеллектуального определения типа модуляции сигнала, принимаемого SDR системой .....	176
<i>Тимченко В.И., Сорока В.А., Подлесный В.Ю.</i> Квантовая эффективность фототока в алмазных поликристаллических пленках .....	178
<i>Третьяков И.А.</i> Анализ проблем применения скрытых марковских моделей и методов их решения.....	181
<i>Третьяков И.А.</i> Перспективные материалы и технологические особенности разработки устройств телекоммуникаций на основе эхо-эффекта .....	183
<i>Трофимов В.В., Кутепов Д.В., Решетняк Т.А.</i> Применимость различных типов волн для обнаружения геологических нарушений .....	186
<i>Худяков И.И., Терещенко Ф.Н., Подлесный В.Ю.</i> Детектор для регистрации слабых оптических излучений .....	189
<i>Шелехова О.Г.</i> Коэффициент мощности асинхронного двигателя при отклонении питающего напряжения.....	192
<i>Яновский А.В., Рушечников Я.И., Карпушин С.А.</i> Ультразвуковое подавление закладных устройств.....	195
<i>Яновский А.В., Джанджгава К.Г., Худяков И.И.</i> Генератор виброакустической помехи .....	198

### **Компьютерные технологии**

<i>Аверин Г.В.</i> Построение шкал системного времени в темпорологии.....	201
<i>Аверин Г.В., Звягинцева А.В.</i> Критерии сложности систем на основе индикативных событий .....	204
<i>Алябьев Б.В., Шарий Т.В.</i> Программный комплекс интеллектуального анализа мирового рынка фриланса в режиме реального времени.....	207
<i>Анастас К.В.</i> Организация внеаудиторной самостоятельной работы студентов с помощью современных компьютерных технологий .....	209
<i>Бодряга В.Е., Толстых В.К., Бондарец Д.В.</i> Интерполяция экспериментальных измерений температуры по поверхности охлаждаемого слитка.....	212
<i>Бондаренко В.И.</i> Рекомендация новостных статей методами машинного обучения	215
<i>Дёмин М.В., Берестовенко А.А., Козлов И.В.</i> О рациональном расчёте и проекти-	218

ровании бытовой холодильной техники с использованием компьютерных технологий.....	
<i>Ермоленко Т.В., Конончук Э.В.</i> Разведочный анализ данных о транспортных происшествиях.....	221
<i>Ермоленко Т.В., Ролик Д.В.</i> Выбор информативного вейвлет-базиса для исследования аудиозаписей сердцебиения.....	224
<i>Ермоленко Т.В., Савенков И.Н., Хвиль А.Д.</i> Выявление аномальных фаций человеческой крови с использованием машинного обучения .....	227
<i>Заблоцкая Т.Ю.</i> Алгоритм сегментации низкоконтрастных изображений биологической нейросетью .....	230
<i>Звягинцева А.В.</i> Теория событийной оценки в системном анализе .....	233
<i>Ключенко Е.Г., Нестругина Е.С.</i> Повышение качества диагностики заболеваний детей с помощью экспертной системы врача педиатра.....	236
<i>Ковалев И.Ю., Бондаренко В.И.</i> Подходы к построению рекомендательных систем для интернет-магазинов .....	238
<i>Котенко В.Н., Гладкова К.Н.</i> Автоматизированная система генерации семестровых списков учебных дисциплин бакалавриата на основе учебного плана направления подготовки .....	240
<i>Котенко В.Н., Елисеев В.О.</i> Инновационный метод хранения данных в играх в жанре Role-Playing Game .....	243
<i>Котенко В.Н., Ермоленко Е.С.</i> Проектирование и реализация системы планирования задач и целей .....	246
<i>Котенко Ю.В., Горбатенкова А.И.</i> Разработка REST API для организации работы полиграфической компании .....	249
<i>Котенко Ю.В., Криворучко К.А.</i> Автоматизированная система учета и анализа информации клуба знакомств .....	252
<i>Котенко Ю.В., Митяева В.В.</i> Разработка системы управления модельным агентством города Донецка посредством специализированного telegram-бота.....	255
<i>Кузнецов Д.Н., Карповский А.Ю.</i> Флуориметр для системы автоматического управления микроклиматом теплиц .....	258
<i>Лакиза А.С., Ломонос Г.Т.</i> Система нагрузочного тестирования и мониторинга состояния серверов доступа провайдера.....	261
<i>Ломонос Г.Т., Зайка Д.Д.</i> Система индивидуальной кислородной поддержки .....	263
<i>Мартыненко А.М., Богдан Я.А.</i> Исследование характеристик современных поколений видеокарт.....	266
<i>Мартыненко А.М., Васильев С.В.</i> Об оптимизации поиска наилучшего хода в компьютерной шахматной игре .....	268
<i>Маслов Н.С., Мартыненко А.М.</i> О разработке 2D игры в жанре roguelike с упрощенными механиками.....	271
<i>Медникова Е.В.</i> Чат-боты как элемент цифровизации банковского сектора.....	274
<i>Михнюк Е.В., Савенков И.Н., Нестругина Е.С.</i> Анализ рентгеновских снимков лёгких человека методом машинного обучения с целью постановки предварительного диагноза .....	276
<i>Мищенко А.А., Семилетов И.М., Базарский О.В.</i> Повышение качества изобра-	279

жений, полученных при низких уровнях освещённости сцены .....	
<i>Панюшкин Н.Н., Бирюкова И.П.</i> Использование макромодели для определения локальной дозовой нагрузки сплошной защиты в форме прямоугольного параллелепипеда .....	282
<i>Пшеничный К.А., Толстых В.К.</i> Моделирование нестационарных противоточных течений с фазовыми переходами .....	285
<i>Стародубцева В.А.</i> Ожидаемые компьютерные технологии .....	288
<i>Сушко Т.И., Караев Р.Ш., Болдырева Я.А.</i> Автоматизированное проектирование литой детали на основе твердотельного моделирования .....	290
<i>Фурсов Д.В., Бондаренко В.И.</i> Исследование методов прохождения тестовых заданий с распознаванием результатов тестирования .....	293
<i>Шарий Т.В., Шестаков Б.И.</i> Автоматическая генерация новостных статей на основе разнородных данных .....	295
<i>Шрамко В.В., Нестругина Е.С.</i> Мобильное приложение для оценки тяжести и прогнозирования исходов травматического шока .....	297

*НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ*

**ДОНЕЦКИЕ ЧТЕНИЯ 2021:  
ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ИННОВАЦИИ,  
КУЛЬТУРА И ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ**

Материалы  
V Международной научной конференции  
26–27 октября 2021 г.,  
г. Донецк

**ТОМ 2**  
**Физические и технические науки**

под общей редакцией проф. *С.В. Беспаловой*

Ответственный за выпуск доц. *И.А. Третьяков*

Дизайн обложки	<i>Е.Г. Грудева</i>
Технические редакторы	<i>В.Г. Медведева, М.В. Фоменко</i>
Компьютерная верстка	<i>В.Г. Медведева</i>

---

***Адрес оргкомитета:***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»  
ул. Университетская, 24, г. Донецк, 83001, ДНР.  
E-mail: *science.prorector@donnu.ru*

---

Подписано в печать 12.10.2021 г.  
Формат 60×84/16. Бумага офисная.  
Печать – цифровая. Усл.-печ. л. 17,84.  
Тираж 100 экз. Заказ № 21окт15/2.  
Донецкий национальный университет  
83001, г. Донецк, ул. Университетская, 24.  
Свидетельство о внесении субъекта  
издательской деятельности в Государственный реестр  
серия ДК № 1854 от 24.06.2004 г.