



II МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ  
**РУССКИЙ МИР И ДОНБАСС**

ОТ СОТРУДНИЧЕСТВА К ИНТЕГРАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ, ИННОВАЦИЙ И КУЛЬТУРЫ



ФОНД РУССКИЙ МИР

**МАТЕРИАЛЫ**

**IV Международной научной конференции**

**Донецкие чтения 2019: образование, наука,  
инновации, культура  
и вызовы современности**

Донецк

31 октября 2019 г.

**Том 1**

**ч. 2**



**Физико-математические  
и технические науки**

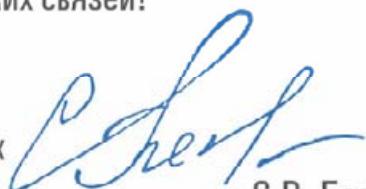


## Дорогие коллеги!

Сборник материалов Международной научной конференции «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» является 9-томным изданием, включающим 13 книг. Труды конференции охватывают разнообразные направления фундаментальных и прикладных исследований в области естественных, технических и социально-гуманитарных наук. Они представляют широкий спектр новых научных результатов, полученных учеными Донецкого национального университета, многих других вузов и научных учреждений Донецкой и Луганской Народных Республик, а также специалистами целого ряда стран Европы и Азии – Российской Федерации, Азербайджанской Республики, Китайской Народной Республики, Республики Беларусь, Республики Болгария, Республики Сербия, Республики Узбекистан, Республики Южная Осетия, Туркменистана, Федеративной Республики Германия, Эстонской Республики. Значительная часть представляемых результатов получена в итоге совместных исследований ученых ДНР и других стран-участниц.

Девиз, под которым проходит конференция – «Русский мир и Донбасс: от сотрудничества к интеграции образования, науки, инноваций и культуры». Он отражает новый уровень и перспективы расширения сотрудничества, обмена мнениями и творческого взаимодействия ученых, педагогов, деятелей культуры и искусства Донецкой Народной Республики в качестве полноправных представителей научно-образовательного пространства Русского мира с коллегами из многих уголков земного шара. Выражаю уверенность, что наша совместная работа во время конференции внесет свой вклад в сокровищницу научных знаний, будет способствовать дальнейшему укреплению и развитию творческих контактов и дружеских связей!

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»  
Фонд «Русский мир»

## **IV Международная научная конференция**

Материалы  
конференции

**Том 1**

**ФИЗИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ  
НАУКИ**

**Часть 2**

**Донецкие чтения  
2019:  
образование, наука,  
инновации, культура  
и вызовы  
современности**

г. Донецк  
31 октября 2019 г.

Донецк  
Издательство ДонНУ  
2019

ББК Б.я431+397я431  
УДК 53+62+68+372.8+004(043.2)  
Д672

*Редакционная коллегия:*

С.В. Беспалова (главный редактор), М.В. Фоменко (отв. секретарь),  
В.А. Дубровина, В.И. Сторожев, А.Ю. Собко, С.А. Фоменко, П.В. Асланов

**Д672 Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности:** Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). – Том 1: Физико-математические и технические науки. Часть 2 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. – 278 с.

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

Во вторую часть первого тома материалов IV Международной научной конференции «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» вошли исследования по актуальным проблемам физико-математических и технических наук. Рассматриваются вопросы физики неравновесных процессов, стандартизации и метрологии, прикладной экологии, теоретической физики и нанотехнологий, радиофизики, инфокоммуникационных и компьютерных технологий. В издании также представлены работы, посвященные дидактике физики.

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

ББК Б.я431+397я431  
УДК 53+62+68+372.8+004(043.2)

© Коллектив авторов, 2019

© Донецкий национальный университет, 2019

## **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 юрид. наук, профессор, ректор Таганрогского института управления и экономики (г. Таганрог)

*Беспалова Т.В.* д-р филос. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель Отдела государственной культурной политики Российского научно-исследовательского института культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачева (г. Москва)

*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)

*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)

*Илюхин А.А.* д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры математики Таганрогского института имени А.П. Чехова (филиал) ФБГОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)» (г. Таганрог)

*Качалов Р.Н.* и.о. ректора ГОУ ВПО «Донецкая государственная музыкальная академия имени С.С. Прокофьева» (г. Донецк)

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

<i>Ковалев А.М.</i>	д-р физ.-мат. наук, профессор, директор ГУ «Институт прикладной математики и механики» (г. Донецк)
<i>Кожухов И.Б.</i>	д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры высшей математики НИУ «Московский институт электронной техники» (г. Москва)
<i>Нечаев В.Д.</i>	д-р полит. наук, ректор Севастопольского государственного университета (г. Севастополь)
<i>Рябичев В.Д.</i>	д-р техн. наук, профессор, ректор Луганского национального университета имени Владимира Даля (г. Луганск)
<i>Приходько С.А.</i>	канд. биол. наук, ст. науч. сотр., директор ГУ «Донецкий ботанический сад» (г. Донецк)
<i>Решидова И.Ю.</i>	канд. физ.-мат. наук, и.о. директора ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» (г. Донецк)
<i>Савосъкин М.В.</i>	канд. хим. наук, ст. науч. сотр., директор ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко» (г. Донецк)
<i>Скафа Е.И.</i>	д-р пед. наук, профессор, проректор по научно-методической и учебной работе Донецкого национального университета (г. Донецк)
<i>Сорокина Г.А.</i>	д-р пед. наук, профессор, первый проректор Луганского государственного университета имени Тараса Шевченко (г. Луганск)
<i>Сторожев В.И.</i>	д-р техн. наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Донецкого национального университета (г. Донецк)
<i>Тедеев В.Б.</i>	канд. техн. наук, профессор, ректор Юго-Осетинского государственного университета имени А.А. Тиболова, (г. Цхинвал)
<i>Шемякина Н.В.</i>	канд. экон. наук, доцент, и.о. директора ГУ «Институт экономических исследований» (г. Донецк)

# ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## Физика неравновесных процессов

УДК 536.24+536.421

### ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Александров В.Д., д-р хим. наук, профессор,  
Александрова О.В., канд. физ.-мат. наук, доцент, Покинтелица Е.А.  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, ДНР  
*lnk0013@gmail.com*

Для определения наилучшего состава, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к теплоаккумулирующим материалам (ТАМ), был использован однофакторный дисперсионный анализ. Он был проведен на основании справочных и экспериментальных данных, полученных методами термического анализа [1], приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Физические характеристики ТАМ: I – энталпия  $\Delta H_{LS}$  плавления ( $\text{кДж/кг}$ );  
II – коэффициент  $\lambda$  теплопроводности ( $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$ ); III – перегрев  $\Delta T_k^+$  расплава ( $\text{K}$ );  
IV – переохлаждение  $\Delta T^-$  ( $\text{K}$ ); V, VI – теплоемкости  $c_p^S$ ,  $c_p^L$  ( $\text{кДж/кг}\cdot\text{K}$ ),  
VII –  $\Delta c = c_p^L - c_p^S$ ; VIII, IX – плотности  $\rho_S$ ,  $\rho_L$  ( $\text{г/см}^3$ ); X –  $\Delta\rho = \rho_S - \rho_L$ ;  
XI – межфазное поверхностное  $\sigma_{LS}$  натяжение ( $\text{мДж/м}^2$ ); XII – цена ТАМ ( $\text{руб/г}$ );  
XIII – летальная доза ( $\text{мг/кг}$ ); XIV – число  $n$  термоциклов.

Вещества пронумерованы латинскими буквами: А – нафталин (*H*), В – дифенил (*D*),  
С – дibenзил (*D<sub>b</sub>*), Д – дифенилметан (*D<sub>m</sub>*), Е – *o*-терфенил (*o-T*), F – *m*-терфенил (*m-T*),  
G – *p*-терфенил (*p-T*), Н – 32% *H*+68% *D<sub>b</sub>*, I – 49% *D*+51% *D<sub>b</sub>*, J – 72% *D<sub>m</sub>*+28% *D*, К –  
20% *H*+80% *D<sub>m</sub>*, L – 50% *o-T*+50% *D<sub>b</sub>*.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
A	146.7	0.133	5	0	1.61	1.79	176.4	1.17	1.14	0.02	12.4	0.26	300	380
B	120.6	0.137	5	0	1.28	1.41	128.4	1.18	0.99	0.19	12.8	0.22	2400	250
C	126.3	0.136	2	0	1.40	1.76	364.0	1.01	0.90	0.11	10.3	0.53	2500	580
D	113.0	0.134	2	0	1.58	1.97	386.9	1.02	1.01	0.01	10.1	0.63	700	600
E	74.6	0.130	2	0	1.19	1.60	409.5	1.02	0.84	0.18	20.8	16.69	10100	280
F	134.6	0.136	2	0	1.20	1.81	611.7	1.04	0.87	0.17	23.9	9.90	10000	570
G	153.7	0.131	4	0	1.21	2.15	946.1	1.26	0.88	0.38	24.9	8.83	10050	385
H	132.8	0.135	1	2	1.46	1.77	303.9	1.06	0.98	0.08	11.0	0.4	1800	500
I	123.5	0.137	1	7	1.34	1.59	248.6	1.09	0.94	0.15	11.5	0.38	2450	375
J	115.1	0.135	7	0	1.50	1.81	314.5	1.06	1.00	0.06	10.9	0.51	1176	410
K	119.7	0.134	4	0	1.59	1.93	344.8	1.05	1.03	0.01	10.6	0.56	620	490
L	100.5	0.133	1	18	1.29	1.68	386.7	1.02	0.87	0.15	15.5	8.61	6250	290

В результате была составлена сводная табл. 2 по нарастающей степени полезности ТАМ, обозначенные баллами от 1 до 14.

Таблица 2

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
A	2	5	4	1	1	6	11	8	11	3	7	3	12	10
B	7	1	4	1	9	12	12	9	7	11	8	1	7	9
C	5	2	2	1	6	8	6	1	4	6	2	7	5	2
D	10	4	2	1	3	2	4	2	9	1	1	2	10	1
E	12	7	2	1	12	10	3	3	1	10	10	12	1	12
F	3	2	2	1	11	5	2	4	2	9	11	11	3	3
G	1	6	3	1	10	1	1	10	3	12	12	10	2	7
H	4	3	1	2	5	7	9	6	6	5	5	5	8	4
I	6	1	1	3	7	11	10	7	5	8	6	4	6	8
J	9	3	5	1	4	4	8	6	8	4	4	6	9	6
K	8	4	3	1	2	3	7	5	10	2	3	8	11	5
L	11	5	1	4	8	9	5	2	2	7	9	9	4	11

Основная идея однофакторного дисперсионного анализа заключается в сравнении дисперсии исследуемого признака, вызванной действием фактора, с дисперсией ошибок измерения этого признака. Если различие между ними значимо, то фактор оказывает существенное влияние на исследуемый признак. Данная задача решалась с помощью пакета приложения Excel, в котором имеется инструмент «Однофакторный дисперсионный анализ». Программа выдала следующий результат (табл. 3):

Таблица 3

Однофакторный дисперсионный анализ

Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия
Строка 1	14	84	6	15.07692308
Строка 2	14	98	7	15.07692308
Строка 3	14	57	4.071428571	5.60989011
Строка 4	14	52	3.714285714	11.45054945
Строка 5	14	96	6.857142857	22.43956044
Строка 6	14	69	4.928571429	14.53296703
Строка 7	14	79	5.642857143	19.47802198
Строка 8	14	70	5	4.769230769
Строка 9	14	83	5.928571429	8.840659341
Строка 10	14	77	5.5	5.653846154
Строка 11	14	72	5.142857143	9.978021978
Строка 12	14	87	6.214285714	11.41208791

Из табл. 3 видно, что наименьшую дисперсию имеют факторы под номерами 3 и 8 (в нашем случае это дибензил ( $\text{Дб}$ ) – дисперсия равна 5.6 и смесь 32%  $H$ +68%  $\text{Дб}$ , дисперсия для которой равна 4.77). Из табл.4 следует, что расчетное значение  $F=1.16$  меньше табличного значения  $F_{kp}=1.85$ , что позволяет сделать вывод о равенстве дисперсий исследуемых факторов.

Таблица 4  
Дисперсионный анализ

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	153.86	11	13.987013	1.16301	0.3171	1.8505
Внутри групп	1876.14	156	12.026557			
Итого	2030	167				

Для того чтобы определить, какое вещество выбрать в качестве ТАМ, построим графики физических характеристик дибензила и смеси 32% Н+68% Дб (графики строились по данным табл. 1).

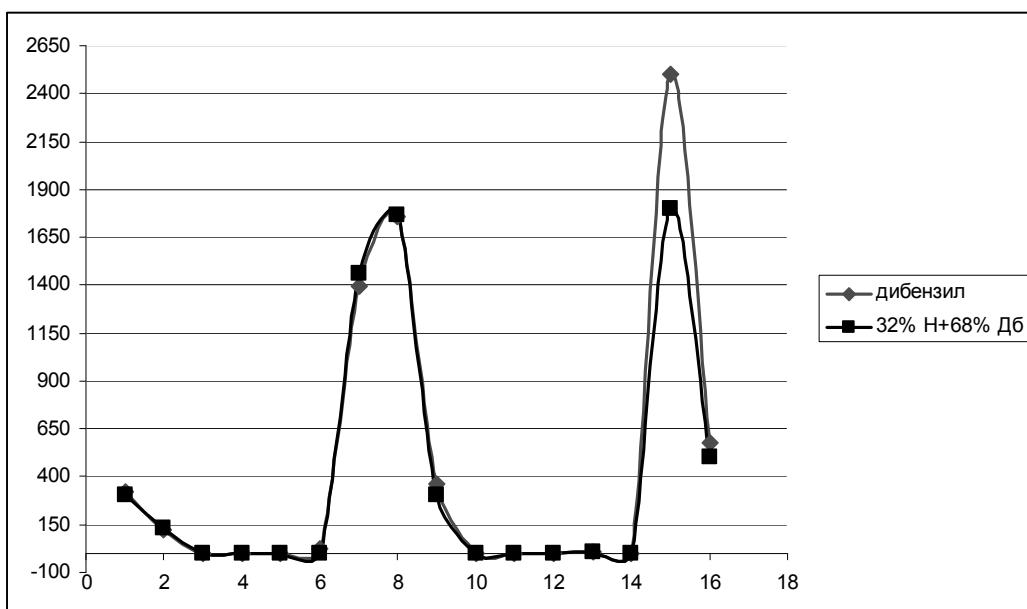


Рис. 1

Под цифрами на оси абсцисс следует понимать номер физической характеристики ТАМ. Таким образом, графики физических характеристик обоих веществ совпадают, кроме одной точки: характеристики летальной дозы (у дибензила она больше). На основании проведенного исследования можем сделать вывод, что наилучшим ТАМ является дибензил.

### Список литературы

1. Александров В.Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных расплавов и растворов. Сборник избранных трудов. Часть 2 / В.Д. Александров, В.А. Постников, С.А. Фролова и др.; под общ. ред. проф. В.Д. Александрова; ГОУ ВПО «ДонНАСА». – Донецк: Донбасс, 2018. – 412 с.

## РАВНОВЕСНАЯ И НЕРАВНОВЕСНО-ВЗРЫВНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ КУМАРИНА

*Александров В.Д.*, д-р хим. наук, профессор,

*Щебетовская Н.В.*, канд. хим. наук, *Муконина Е.В.*

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

г. Макеевка, ДНР

*nvs\_phyz@mail.ru*

**Введение.** Ранее в наших работах [1,2] были обнаружены явления равновесной и неравновесно-взрывной кристаллизации целого ряда ароматических соединений, таких как бензол, нафталин, антрацен; пирокатехин, резорцин, гидрохинон, дифенил, дибензил. При этом был обнаружен целый ряд особенностей кристаллизации, не присущих металлам и неорганическим соединениям. Для развития теории кристаллизации низкомолекулярных органических соединений крайне важно расширить номенклатуру изучаемых веществ.

**Цель** работы - исследовать влияние термической предыстории жидкой фазы на характер кристаллизации кумарина.

**Основная часть.** Основным методом изучения кинетики кристаллизации в данной работе являлся циклический термический анализ [2]. Испытывали кумарин ( $C_9H_6O_2$ ) марки ЧДА массами по 0.2, 1.0 и 2.0 г. Образцы помещали в герметизированные стеклянные ампулы, в которых находилась хромель-алюмелевая термопара. Запись температурных данных осуществлялась с помощью цифрового двухканального термометра UNI-t UT 325 через интерфейс RS-232 на персональный компьютер. Скорость нагрева и охлаждения поддерживали в автоматическом режиме в пределах 0.13–0.17  $K/s$ . Термоциклирование проводили в интервале температур от 308 до 363  $K$ , включающем температуру плавления  $T_L = 342 K$ , относительно которой сверялись те или иные эндо- и экзотермические эффекты при нагревании охлаждении. Всего изучено по пять образцов разной массы и поставки, на каждом из которых проводили до 10 термоциклов в непрерывном режиме. Погрешность в измерениях температуры составляла 0.2-0.3  $K$ . Достоверность результатов подтверждалась их хорошей воспроизводимостью на основании многократного термоциклирования. Статобработку переохаждений и нахождения их средних значений проводили методом наименьших квадратов.

В результате термических исследований для кумарина был обнаружен эффект скачкообразного перехода от равновесной кристаллизации к неравновесно-взрывной, в зависимости от величины предварительного прогрева расплава, аналогично тому, который был обнаружен на других соединениях [1].

В качестве примера на рис. приведены последовательные термограммы нагревания и охлаждения кумарина массой 0.2 г, записанные в непрерывном режиме специально для демонстрации основных особенностей при плавлении и кристаллизации.

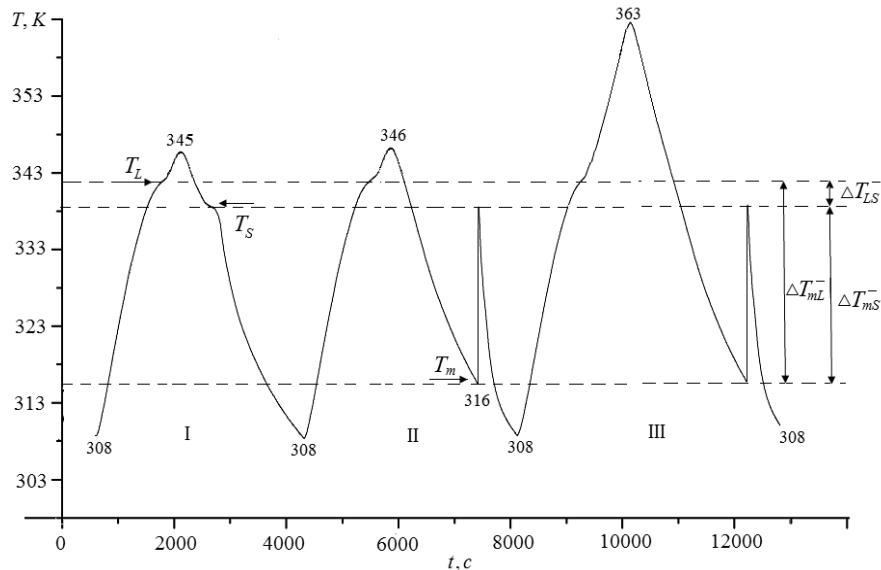


Рис. Термограммы нагревания и охлаждения кумарина массой 0.2 г.  
Цифрами показаны температуры в градусах Кельвина (К)

Во-первых, на всех термограммах на линии нагревания вблизи температуры плавления 342 К фиксируется небольшой эндоэффект, связанный с плавлением кумарина.

Во-вторых, в первом цикле (I) при охлаждении слабо прогретого расплава регистрируется экзоэффект при температуре  $\approx 338$  К. По виду горизонтального при  $T_S$  можно говорить о равновесном характере кристаллизации. Температура  $T_S$  отличается от  $T_L$  на величину  $\Delta T_{LS}^- \approx 4$  К. Получается, что равновесная кристаллизация при  $T_S$  происходит в явно равновесных условиях своеобразного «переохлаждения»  $\Delta T_{LS}^-$ .

В третьих, установлена так называемая «критическая» температура  $\Delta T_k^+ = 345$  К, которая характерна тем, что достаточно было нагреть расплав в последующем цикле (II) хотя бы на один градус выше (346 К), так сразу резко меняется вид термограммы на линии охлаждения. В данном случае при температуре  $T_S$  не обнаруживается признаков экзоэффекта (как на термограмме I), а температура понижается до  $T_m \approx 316$  К за инкубационный период равный 950 с. Затем она самопроизвольно со скоростью  $\sim 20$  К/с поднимается до температуры  $T_S$  за 1 с, что свидетельствует об адиабатном эффекте. Таким образом, после прогрева расплава выше  $\Delta T_k^+$  и его охлаждении вид кристаллизации меняется от квазиравновесной к неравновесно-взрывной. При охлаждении расплава ниже  $\Delta T_k^+$  наблюдается обратный переход.

Следует отметить, что температура во всех термоциклах неизменно поднималась от  $T_m$  до  $T_S$ , но не до  $T_L$ . Получается как бы два переохлаждения  $\Delta T_{Lm}^- = T_L - T_m$  и  $\Delta T_{Sm}^- = T_{Sm} - T_m$ ; при этом  $\Delta T_{Lm}^- = \Delta T_{Sm}^- + \Delta T_{LS}^-$ . Из сравнения термограмм II и III на рис. видно, что дальнейший перегрев  $\Delta T^+$  расплава выше  $\Delta T_k^+$  на 25 K не приводит к изменению величины переохлаждения как  $\Delta T_{Lm}^-$ , так и  $\Delta T_{Sm}^-$ .

**Заключение.** Согласно кластерно-коагуляционной модели кристаллизации [2] в переохлажденной области идет непрерывный процесс образования зародышей, т.к. движущая сила этого (этапа как разность свободных энергий Гиббса между жидкой  $G_L$  и твердой  $G_S$  фазами), есть функция переохлаждения  $\Delta G_{LS}(\Delta T^-)$ . Как только концентрация зародышей доходит до некоторого максимального значения (очевидно при температуре  $T_m$ ), между ними начинается реакция коагуляции с выделением теплоты за счет межфазной поверхностной энергии между жидкой и твердой фазами. В результате этого температура поднимается от  $T_m$  до  $T_S$ , что связано с взрывной кристаллизацией. Для объяснения механизма взрывной кристаллизации использованы основные положения теории цепных реакций взрывного типа, где в качестве «кирпичиков» для кристаллизации служат наноразмерные зародыши и явления их коагуляции.

### Список литературы

1. Щебетовская Н.В. Неравновесная кристаллизация бинарных систем ароматических соединений [Текст]: дис. канд. хим. наук: 02.00.04: защищена 08.12.11 / Щебетовская Наталья Витальевна. – Д. 2011. – 163 с.
2. Александров В.Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных расплавов и растворов. Сборник избранных трудов. Часть 2 / В.Д. Александров, В.А. Постников, С.А. Фролова и др. под общ. ред. проф. В.Д. Александрова; ГОУ ВПО «ДонНАСА». – Донецк: Донбасс, 2018. – 412 с.

УДК 538.9.519.6

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО СЛИТКА $Fe_{80} Ba_{20}$

*Баздырева Ю.А., Антропова Л.В.,  
Белоусов В.В., д-р техн. наук, профессор  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
yliya\_bazdareva@mail.ru*

**Введение.** В последнее время все больше работ посвящено изучению конденсированных сред с неупорядоченным расположением атомов, или как их принято называть аморфным металлическим стеклам. На данный

момент существует множество способов получения аморфной структуры: метод осаждения из газовой фазы или жидкого раствора, метод непрерывной закалки расплава на поверхности вращающегося диска и т.д. Однако, наибольший интерес вызывают методы формирования слитка при заливке расплава в низкотемпературную среду.

Изучение методов математического моделирования процесса формирования переохлаждённого слитка имеет интерес, как в области прикладной физики кристаллизации, так и в области решения задач теплофизики.

Металлические аморфные стекла получают путем стремительного охлаждения, при этом скорость охлаждения расплава превышает скорость кристаллизации. В результате чего зарождение и рост кристаллической фазы становятся невозможными, и металл после затвердевания имеет аморфную структуру. Получение высоких скоростей охлаждения возможно при использовании глубокого вакуума или криогенной температуры (например, помещение образца в гелиевую среду).

Аналитическое исследование процессов кристаллизации металлических сплавов сталкивается с необходимостью описания фазовых превращений в двухфазной зоне. В настоящее время математические модели основываются либо на описании объемного зарождения и роста твердой фазы, либо на квазиравновесной теории двухфазной зоны В.Т.Борисова. Последняя, в свою очередь, не учитывает кинетическое и диффузионное переохлаждение расплава.

**Цель данного исследования** состоит в изучении влияния циркуляционных процессов на распределение температуры в теле переохлажденного слитка.

В работе [1] рассматривалась физическая и математическая модель слитка, находящегося в гелиевой атмосфере.

В форму из хорошо проводимого тепла материала (например, меди) тепловым сопротивлением, которого можно пренебречь, в момент времени  $t=0$  заливается расплав  $Fe_{80}Ba_{20}$ . Форма находится в атмосфере газа, охлажденного до температуры 173 К. Размеры формы 0,01 м по координате  $r$  и 0,02 м по координате  $z$ . В нижней части формы установлено устройство, позволяющее перемешивать расплав.

В основе тепловой части задачи лежит квазиравновесная теория двухфазной зоны В.Т.Борисова [2]. Согласно данной теории при возникновении переохлаждения в объеме жидкого сплава, в нем образуются дендриты, снимающие переохлаждение. И, следовательно, появляется двухфазная зона, состоящая как из твердой, так и из жидкой фаз.

Уравнения теплопереноса и массопереноса связываются уравнением линии ликвидус, и приводятся к следующему критериальному виду:

$$c_p \rho \left( \frac{\partial \Theta}{\partial F_0} + (1 - \xi) U \nabla \Theta + (1 - \xi) V \nabla \Theta \right) = \nabla [(1 + \lambda \xi) \nabla \Theta] + [\lambda \nabla \xi] \nabla \Theta + \lambda \Delta \xi, \quad (1)$$

$$(1-\xi) \frac{\partial S}{\partial F_0} = L u \Delta [(1-\xi) S] + (1-k_0) S \frac{\partial \xi}{\partial F_0}, \quad (2)$$

Что касается гидродинамической части задачи, то покомпонентная запись уравнения переноса импульса интегрируется по пространству [3] и с учетом уравнения неразрывности будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial \omega}{\partial F_0} + (1-\xi) U \frac{\partial \omega}{\partial r} + (1-\xi) V \frac{\partial \omega}{\partial z} = \text{Pr} \left( \Delta \omega - \frac{U}{r^2} \right) + (1-\xi) \text{Pr}^2 Gr \frac{\partial \Theta}{\partial r} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial v}{\partial r}, \quad (4)$$

Уравнения (1), (2) и (3), (4) реализовались численно с использованием неявной конечно разностной схемы, методами возмущенного оператора и прогонки на языке Delphi.

Для оценки влияния циркуляционных потоков, вызванных вынужденной конвекцией, на затвердевание расплава использовался критерий Ричардсона (Ri) [4]:

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2} = \frac{\vec{g} \beta \Delta T x}{V^2}, \quad (5)$$

Если число Ричардсона меньше единицы, то сила плавучести (Gr) не играет существенной роли для течения. Если оно больше единицы, то сила плавучести доминирует т.е. конвекция не может эффективно перемешивать расслоившуюся по плотности среду.

При характерном размере изделия 0,01 м и скорости вращения расплава 0,01 и 0,1 м/с число Ri равно соответственно 441 и 4,41, что позволяет говорить о существенном преимуществе сил плавучести. На рисунке 1 представлено распределение температуры на 50 горизонте слитка в расплаве без конвекции и со скоростью перемешивания 0,01 м/с и 0,1 м/с.

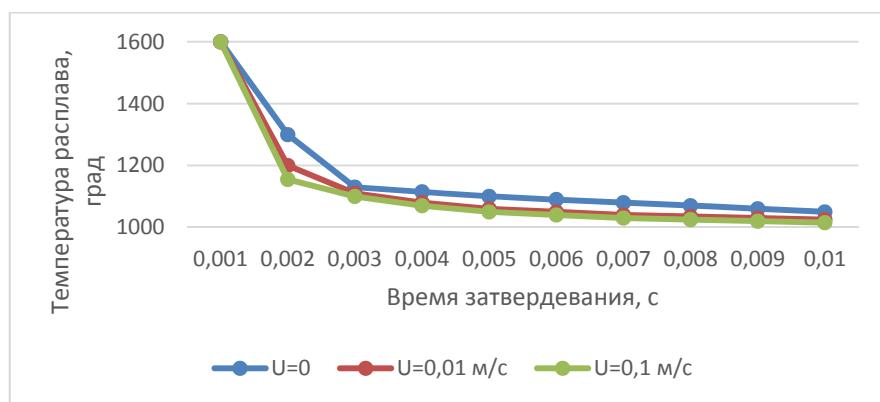


Рис.1. Распределение температуры слитка в зависимости от скорости перемешивания расплава

Как видно из полученного распределения температуры, только на начальном участке затвердевания (приблизительно до момента времени

0,002 с) наблюдается некоторое влияние перемешивания. В дальнейшем влияние перемешивания практически не сказывается, на распределение температуры в затвердевающем слитке.

**Выводы.** Исследования, проведенные в работе, показали, что учет гидродинамического фактора ускорил продвижение фронта затвердевания на 1 % при скорости перемешивания 0,01 м/с и на 4 % при скорости перемешивания 0,1 м/с. Таким образом, можно говорить о незначительном влиянии динамического фактора на кинетику затвердевания.

### **Список литературы**

1. Баздырева Ю.А. Математическое моделирование формирования переохлажденного стального слитка. Постановка задачи / Ю.А.Баздырева, В.В.Белоусов, В.В.Бодряга В.И.Бондаренко и др.//Открытые физические чтения – 2018: Матер. Междунар.науч.-практ. конф. (Луганск, 18-19 мая 2018г.). – Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля № 5 (11) 2018. – С. 185-191.
2. Борисов В.Т. Кристаллизация бинарного сплава при сохранении устойчивости. – ДАН. – 1961. – Т. 136, № 3. – С. 583-586.
3. Белоусов В.В. Затвердевание металлов и металлических композиций. Учебник / В.В.Белоусов, Ф.В.Недопекин, В.Е.Хрычиков, и др. – К.: Наукова думка, 2009. – 412 с.
4. Баздырева Ю.А. Оценка влияния перемешивания на затвердевание расплава / Ю.А.Баздырева, В.В.Белоусов, С.Ф.Прохоренко // Открытые физические чтения – 2019: Матер. Междунар.науч.-практ. конф. (Луганск, 17-18 мая 2019г.). – Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – № 7 (25) 2019. – С. 154-157.

УДК 532.516.5

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БАРБОТАЖА СТАЛИ АРГОНОМ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ**

**Белоусов В.В.**, д-р техн. наук, профессор, **Коркишко В.В.**  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*e-mail@mail.ru*

**Введение.** Как показывает обзор современного состояния проблемы, технология продувки расплавленного металла инертным газом через пористые элементы – барботаж – является наиболее эффективной в соотношении «цена-качество» среди технологий рафинирования. При барботаже наблюдается не только перемешивание расплава, но и формирование развитой поверхности фазораздела газ-жидкость, что интенсифицирует тепло- и массообменные процессы и способствует равномерному распределению тепла и массы по объему, что в конечном итоге, повышает качество отпускаемой продукции.

**Цель.** Разработать достоверную модель барботажа, позволяющую оценивать эффективность рафинирования стали в двухручьевом промежуточном ковше при различных условиях подачи аргона.

**Основная часть.** В современной вычислительной гидродинамике существует несколько основных подходов к моделированию многофазных систем. Для решения данной задачи необходимо применить модель Эйлера-Эйлера в приближении модели пузырькового течения. Общая модель Эйлера-Эйлера предназначена для моделирования потока двух сплошных взаимопроникающих несжимаемых сред. Модель пузырькового течения применяется для описания течения жидкости, содержащей газовые пузырьки. В основе модели лежат следующие допущения:

- 1) размер дисперсных пузырьков намного меньше размера ячеек расчетной сетки (диаметр пузырька аргона – 3-15 мм, размер ячейки – порядка 40 мм);
- 2) плотность газа пренебрежимо мала по сравнению с плотностью жидкости ( $\rho_{\text{аргон}} = 1,78 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{сталь}} = 6800 \text{ кг/м}^3$ )
- 3) объемная доля газа не превышает 10% (для 90 т промковша при максимальном расходе аргона 90  $\text{л/ч}$  газосодержание составляет около 1-3%).

В модели пузырькового течения решается система уравнений Навье-Стокса для потока жидкости, уравнение неразрывности для газожидкостной смеси и уравнение переноса массы для газовой фазы[1]. Таким образом, необходимо решить такую систему уравнений.

Уравнения неразрывности и момента импульса для жидкой стали:

$$\rho_l \frac{\partial(v_{lj} v_{li} f_l)}{\partial x_j} = -f_l \frac{\partial p_l}{\partial x_i} + \\ + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ f_l (\mu_l + \mu_t) \left( \frac{\partial v_{li}}{\partial x_j} + \frac{\partial v_{lj}}{\partial x_i} \right) \right] + f_l (\rho_l - \rho_g) g_i + C_{lg} (v_{gi} - v_{li})$$

Уравнение переноса газовой фазы:

$$\frac{\partial f_g}{\partial t} + \frac{\partial(v_{gi} f_g)}{\partial x_i} = 0$$

Уравнение неразрывности газожидкостной смеси:

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \frac{\partial(v_{li} \rho_m)}{\partial x_i} = 0$$

где индексы  $i$  и  $j = 1,2$  обозначают проекции на оси  $x$  и  $y$ ,  $v_j = \{u, v\}$ , индекс  $l$  обозначает жидющую сталь,  $g$  – газовую фазу,  $m$  – газожидкостную смесь соответственно,  $f$  – долю каждой из фаз с условием, что  $f_l + f_g = 1$ ,  $\rho$  – плотность,  $\mu_l$  – молекулярную вязкость,  $\mu_t$  – турбулентную вязкость. При повторении индексов происходит суммирование.

Плотность газожидкостной смеси находится из соотношения:

$$\rho_m = \rho_l f_l + \rho_g f_g = \rho_l (1 - f_g) + \rho_g f_g$$

Последнее слагаемое уравнения момента импульсов описывает межфазное взаимодействие между жидкой сталью и пузырьками аргона.

Коэффициент  $C_{lg}$  является обменным коэффициентом и зависит от относительной скорости фаз:

$$C_{lg} = \frac{3}{4} \frac{C_D}{D} f_g \rho_l |v_{li} - v_{gi}|$$

где  $D$  – диаметр пузырька.

Безразмерный коэффициент  $C_D$  является функцией числа Рейнольдса для пузырька:

$$Re_b = \frac{\rho_l |v_l - v_g| D}{\mu_l}$$

Эта функциональная зависимость является экспериментальной, согласно данным работы [2] для различных чисел Рейнольдса имеет следующий вид.

Для чисел Рейнольдса  $0 \leq Re_b \leq 0.2$ :

$$C_D = \frac{24}{Re_b}$$

Для чисел Рейнольдса  $0 \leq Re_b \leq 500 \sim 1000$ :

$$C_D = \frac{24}{Re_b} (1 + 0.15) Re_b^{0.687}$$

Для описания турбулентности жидкой фазы используется модель  $k-\varepsilon$  турбулентности, включающая уравнение турбулентной кинетической энергии  $k$  и турбулентной диссипации энергии  $\varepsilon$ :

$$\begin{aligned} \rho_l \frac{\partial(f_l v_{li} k)}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ f_l \left( \mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_t f_l \frac{\partial v_j}{\partial x_j} \left( \frac{\partial v_{li}}{\partial x_j} + \frac{\partial v_{lj}}{\partial x_i} \right) - f_l \rho_l \varepsilon \\ \rho_l \frac{\partial(f_l v_{li} \varepsilon)}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ f_l \left( \mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_t f_l \frac{\partial v_j}{\partial x_j} \left( \frac{\partial v_{li}}{\partial x_j} + \frac{\partial v_{lj}}{\partial x_i} \right) - C_2 f_l \rho_l \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned}$$

Турбулентная вязкость  $\mu_t$  вычисляется через турбулентную кинетическую энергию  $k$  и турбулентную диссипацию энергии  $\varepsilon$ :

$$\mu_t = C_\mu \rho_l \frac{\varepsilon^2}{k}$$

Из данных работы [3] для вышеизложенных уравнений можно использовать следующие константы:

$$C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.00, \sigma_\varepsilon = 1.30$$

**Выводы.** Предложена математическая модель, позволяющая учесть гидродинамические и газообменные процессы в ванне двухручевого промежуточного ковша. К сожалению, решение данной системы в естественных переменных является крайне ресурсозатратным. Поэтому выбран метод численной реализации «вихрь – функция тока». Вместе с тем, несмотря на преимущества этот метод требует дополнительных допущений по отношению к расчету жидкогазовой фазы.

## Список литературы

- Саффари Х. Численное исследование влияния геометрических характеристик вертикальной геликоидальной катушки на течение в ней пузырьковой жидкости /

- Х.Саффари, Р.Мусави // Прикладная механика и техническая физика. – 2014. – Т. 55, №6. – С. 60-73.
2. Clift R., Grace J.R. and Weber M.E. Bubbles, Drops, and Particles. London: Academic Press Inc., 1978. – 380c.
  3. Launder B.E., Spalding, D.B.. Numerical Computation of Turbulent Flows // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1974. vol. 13. – С. 269-289.

УДК 519.6

## ПРИМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ВОЛЬФЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

**Бодриага В.Е., Толстых В.К.**, д-р физ.-мат. наук, профессор  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*v.bodriaga@donnu.ru*

**Введение.** Задачи оптимизации – составная часть многих инженерных задач. В общем виде итерационный процесс поиска оптимума записывается в виде:

$$x^{k+1} = x^k + \alpha_k p_k,$$

где  $\alpha_k$  – шаг метода;  $p_k$  – направление спуска.

Для решения задач оптимальности широко применяется метод наискорейшего спуска, метод Ньютона, метод сопряженных градиентов, квазиньютоновские методы и др. Важной подзадачей каждого метода является расчет шага  $\alpha$ . Здесь известны методы одномерной минимизации, использование постоянного шагового множителя, правило Армихо, правило Голдстейна и т.д.

**Актуальность.** Нельзя выделить какой-либо из методов для поиска шагового множителя как наилучший. Выбор метода расчета шагов напрямую связан с реализацией того или иного метода поиска оптимума для каждой задачи индивидуально [1,4].

К примеру, выбор шагов спуска в градиентных методах может осуществляться из линейных оценок либо с привлечением тех или иных процедур минимизации соответствующих функционалов [2]. Для расчета шага с использованием правила Голдстейна, к примеру, на практике применяют в сочетании с одномерной минимизацией [3].

**Целью** данной работы является рассмотрение основных принципов условия Вольфе для вычисления шага при решении задач оптимизации.

Условия Вольфе представляются в виде двух неравенств: условия Армихо:

$$f(x_k + \alpha_k p_k) \leq f(x_k) + c_1 \alpha \nabla f_k^T p_k, \quad (1)$$

и условия кривизны (изгиба):

$$\nabla f(x_k + \alpha_k p_k)^T p_k \geq c_2 \nabla f_k^T p_k. \quad (2)$$

Здесь  $f$  – целевая функция,  $c_1 \in (0,1)$ ,  $c_2 \in (c_1,1)$ ,  $\alpha_k$  – шаг,  $p_k$  – направление оптимума,  $x_k$  – начальная точка.

$$\varphi(\alpha_k) = f(x_k + \alpha_k p_k).$$

В качестве пробных значений аргумента функции последовательно используются векторы  $(x_k + \alpha_k p_k, x_{k+1} + \alpha_{k+1} p_{k+1})$  до тех пор, пока некоторое  $\alpha_k$  первый раз не попадет в множество значений  $\alpha$ , удовлетворяющих требуемому неравенству. Хотя само это множество не обязательно отрезок, однако заведомо известно, что содержит некоторый отрезок т.к.  $\nabla f_k^T p_k < 0$  [5].

Реализация правила Армихо очень проста и требуется вычислить градиент функции один раз на каждой итерации. Соответствующий процесс определения  $\alpha_k$  показан на рисунке 1.

Рассматривается некоторая исследуемая функция и отмечены интервалы значений  $\alpha$ , которые удовлетворяют условию (1) и которые не удовлетворяют данному условию.

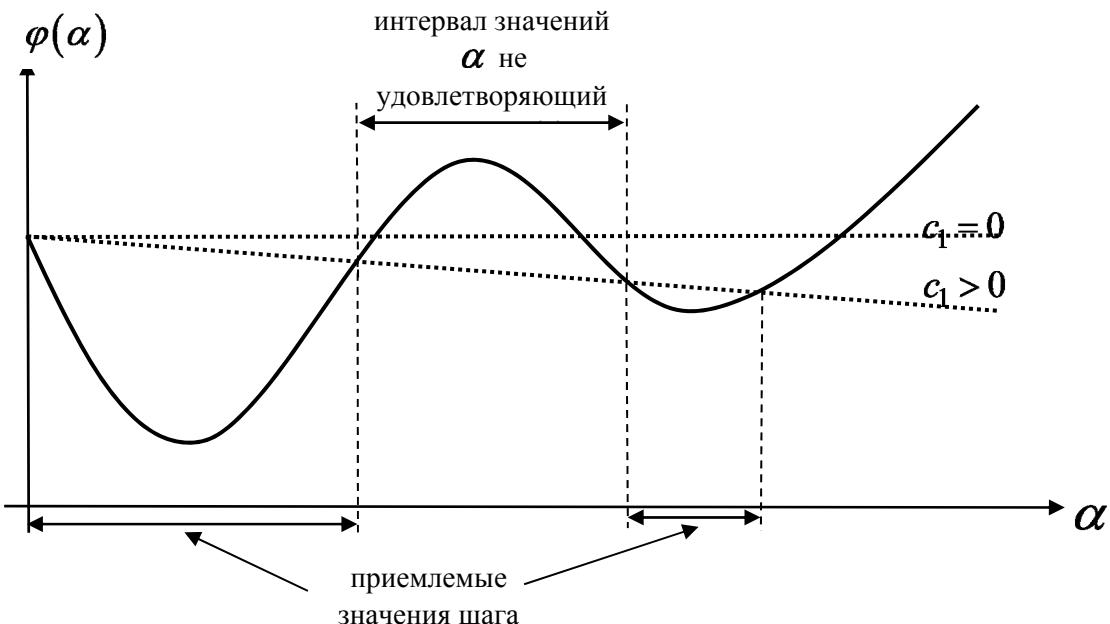


Рис. 1. Определение  $\alpha$  согласно правилу Армихо

Обозначим в (1)  $l(\alpha_k) = f(x_k) + c_1 \alpha \nabla f_k^T p_k$ , поэтому  $\varphi(\alpha) \leq l(\alpha)$ .

Пунктиром изображена прямая  $l(\alpha)$  при  $c_1 > 0$ , и при  $c_1 = 0$ , т.е.  $c_1$ , характеризуя наклон  $l(\alpha_k)$ , регулирует строгость выбора интервала приемлемых значений шагового множителя  $\alpha$ . На этом интервале исследуемая функция будет убывать.

Последующий анализ функции будем проводить с помощью производных в двух точках, используя второе условие Вольфе (2).

Заметим, что

$$\varphi'(\alpha) = f'(x_k + \alpha_k p_k) \cdot p_k,$$

т.е.

$$\varphi'(\alpha_k) = \nabla f(x_k + \alpha_k p_k) \cdot p_k,$$

откуда:

$$\varphi'(0) = \nabla f(x_k) p_k.$$

Таким образом (2) запишем в виде:

$$\varphi'(\alpha_k) \geq c_2 \varphi'(0).$$

Найденный шаг  $\alpha_k$ , удовлетворяющий условиям Вольфе, может и не привести к минимуму функции, однако выполнение условия (2) обеспечит по крайней мере приближение к локальному минимуму или стационарной точке. Также эффективным является использование строгих условий Вольфе в виде:

$$\varphi(\alpha) \leq l(\alpha), \quad (3)$$

$$|\varphi'(\alpha_k)| \leq c_2 |\varphi'(0)|. \quad (4)$$

В **заключении** отметим, что имея только начальную точку и рассчитав один раз градиент целевой функции на каждой итерации в задаче поиска экстремума можно рассчитать шаг метода оптимизации. Дальнейшими действиями могут стать реализация градиентных и безградиентных методов, метода случайных направлений и т.д.

Настающая популярность метода Вольфе объясняется относительной легкостью его реализации и гарантированной «защитой» от слишком малых шагов.

## Список литературы

1. Алифанов О.М. Экстремальные методы решения некорректных задач / О.М.Алифанов, Е.А.Артюхин, С.В.Румянцев.– М.: Наука, 1988. – 288 с.
2. Ахмадиев Ф.Г. Математическое моделирование и методы оптимизации / Ф.Г.Ахмадиев, Р.М.Гильфанов. – Казань:: Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2017.
3. Бертsekas Д. Условная оптимизация и методы множителей Лагранжа / Д.Бертsekas. – М.: Радио и связь, 1987. – 400 с.
4. Шукаев Д.К., Прикладные методы оптимизации / Д.К.Шукаев. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 212 с.
5. Jorge Nocedal Numerical optimization / J.Nocedal, Stephen J. Wright. – New York, Springer-Verlag, 1999. – 636 p.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА  
ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ СЛИТКОВ**

*Бондаренко В.И.*, канд. техн. наук,  
*Белоусов В.В.*, д-р техн. наук, профессор,  
*Недопекин Ф.В.*, д-р техн. наук, профессор,  
*Бодряга В.В., Березина Е.А.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*bondarenko@donnu.ru*

**Введение.** В настоящее время в различных отраслях, в частности в металлургии, всё чаще применяют системы моделирования, экономичность затрат при использовании которых очевидна по сравнению с опытными исследованиями. Современные системы автоматизированного моделирования литьевых процессов способны моделировать большинство физических процессов, вариантов литьевой технологии и литьевых дефектов отливок практически из любых сплавов [1].

**Цель** работы – провести сравнительный анализ подобных систем и выработать рекомендации для использования в различных аспектах металлургического производства.

**Основная часть.** Приведенные в таблице 1 классификационные признаки подчеркивают специфику отдельных систем автоматизированного моделирования.

**MAGMASOFT** [2] в настоящее время является лидером рынка металлургического ПО. Magmasoft обладает обширной базой материалов, которая может быть дополнена пользователем, предлагает моделирование любых видов литья, имеет специализированные модули под литьевое оборудование различных фирм. Применение Magmasoft позволяет выполнить комплексную оптимизацию литьевых процессов еще до изготовления какой-либо формы или оснастки. Главные функциональные возможности продукта: оптимизация режимов процесса заливки и затвердевания сплава; расчет пресс-форм; оптимизация литниковой системы; прогноз микро и макроструктуры, механических свойств отливок; минимизация остаточных напряжений и деформаций; тепловой расчет пресс-форм.

**Wincaст** моделирует заливку металла: течение расплава при гравитационной заливке с учетом поворота формы, заполнение формы под давлением; гидродинамический анализ совмещен с тепловым; существует связь через интерфейс с программой гидродинамических расчетов Flow3d; затвердевание металла: расположение тепловых узлов и усадочных дефектов; напряжения и поводку; суперпозицию технологических и эксплуатационных напряжений; микроструктуру; термообработку; сварку.

Основу системы составляют базовые и дополнительные модули для последовательного или параллельного прохождения различных этапов моделирования, задачи могут решаться совместно с учетом их взаимного влияния. Программа различает при моделировании следующие виды литья: под высоким давлением; под низким давлением; по выплавляемым моделям; в кокиль; в песчаную форму; оболочковое литье; гравитационное; центробежное; непрерывное.

Таблица 1

Специфика отдельных систем автоматизированного моделирования

Наимено- вание	Назначение		Уровень функциональ- ных возможностей		Методы решения уравнений математической физики			Ориентация на моделирование
	Специальное	Общее	Средний	Высокий	Конечные разности	Конечные элементы	Конечные объемы	
WinCast (ФРГ)	+		+			+		+
MAGMAMsoft (ФРГ)	+			+	+			+
ProCast (США, Швейцария)	+			+		+		+
Poligon (Россия)	+		+			+		+
LVMFlow (Россия)	+		+		+			+
FLOW-3D (США)		+		+			+	+

**ProCAST** позволяет моделировать следующую литейную технологию: любая гравитационная заливка (литье в кокиль, в ПГС и ХТС, по выплавляемым моделям и т.д.); литье под регулируемым давлением (литье под высоким давлением, литье под низким давлением, литье с противодавлением, литье вакуумным всасыванием и т.д.); центробежное литье; непрерывное литье; литье по газифицируемой модели.

Procast наиболее подходит для предприятий авиакосмического производства, где временные затраты (месяц и более) на оптимизацию одной отливки оправдываются достигнутыми целями.

**СКМ «ПолигонСофт»** [3] в настоящее время моделирует следующие процессы: тепловые (поля температур и долей жидких фаз), усадочно-фильтрационные (поля давлений и поля пористости), гидродинамические (поля скоростей), электрические (поля электрических потенциалов). На базе моделирования этих процессов с помощью модуля для критериаль-

ного анализа могут быть получены поля распределений различных других параметров: структурные параметры, прочность, твердость, пригар, размыв и пр., но это уже не моделирование, а обработка результатов моделирования (тепловых полей, полей давлений, полей скоростей). Собственно алгоритм обработки может быть любой, как входящий в комплект поставки Полигона, так и заданный любым пользователем.

Некоторые задачи, например, расчет температурных полей в системе «отливка-форма», в САМ ЛП давно и успешно решаются. Некоторые задачи (кинетика кристаллизации, оптимизация и др.) только начинают внедряться. Другие, будучи внедрены ранее (гидродинамика, напряженно-деформированное состояние), имеют высокий потенциал развития из-за сложности самой задачи, недостатка знаний об определенных свойствах материалов и высоких требований к вычислительным системам. В этих направлениях идет наиболее интенсивное развитие САМ ЛП.

Следует отметить, что можно использовать вычислительные пакеты общего профиля, которые в том числе позволяют моделировать процессы переноса, – такие как ANSYS и COMSOL Multiphysics.

**ANSYS** представляет собой конечно-элементный пакет, включающий в себя целое семейство специализированных подсистем для решения в единой среде широкого спектра инженерных задач [4]. Решать задачи теплообмена позволяют компоненты ANSYS/Multiphysics, ANSYS/Mechanical, ANSYS/Professional и ANSYS /FLOTTRAN. Основой теплового анализа в ANSYSe является уравнение теплового баланса, основанное на законе сохранения энергии.

Конечно-элементное решение, получаемое с помощью ANSYSa, определяет температуры в узлах, которые затем используются для получения других тепловых величин.

**COMSOL Multiphysics** – это мощная интерактивная среда для моделирования и расчетов большинства научных и инженерных задач, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) методом конечных элементов [5]. Расчет не требует глубокого знания математической физики и метода конечных элементов. Это возможно благодаря встроенным физическим режимам, где коэффициенты PDE задаются в виде понятных физических свойств и условий, таких как: теплопроводность, теплоемкость, коэффициент теплоотдачи и т.п.

Для решения задач тепломассопереноса предусмотрены три основных физических раздела Heat Transfer, Diffusion и Fluid Dynamics. Раздел Fluid Dynamics использует уравнение Навье-Стокса для несжимаемой жидкости. Раздел Heat Transfer включает в себя, кроме подраздела Conduction, подраздел Convection and Conduction, который отличается тем, что кроме теплофизических свойств, можно задать поле скоростей теплоносителя. Один из модулей расширения General Heat Transfer включает в себя объединенные с излучением, конвекцию и

кондукцию, а также такие разделы как Thin Conductive Layer – тонкий теплопроводный слой, Non-Isothermal Flow – неизотермический поток.

**Заключение.** На основании проведенного обзора можно сделать вывод, что большинство современных расчетных пакетов требуют специальных знаний в области математического моделирования и компьютерных технологий, выходящих за пределы инженерных знаний специалиста-литейщика.

Таким образом, остаются востребованными программы, разработанные с помощью традиционных средств программирования, которые обладают удобным для конечного пользователя интерфейсом и не требовательны к ресурсам компьютера. При этом это программное обеспечение для своей работы не должно требовать установки дополнительного программного окружения и может являться составной частью информационной системы предприятия [6].

## Список литературы

1. Вольнов И.Н. Системы автоматизированного моделирования литейных процессов – состояние, проблемы, перспективы / И.Н. Вольнов // Литейщик России. – 2007. – № 6. – С. 14-17.
2. MAGMA and Partners [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.magmasoft.de> (дата обращения: 01.08.2018).
3. Монастырский А.В. Моделирование литейных процессов. Работаем в "ПолигонСофт" / А.В. Монастырский // Литейное производство. – 2009. – № 6. – С. 19-22.
4. Югов В.П. Решение задач теплообмена. ANSYS 5.7 Thermal Analysis Guide / В.П. Югов. – Перевод. – Москва: KAD-FEM GmbH, 2001. – 110 с.
5. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL / FEMLAB / Г.В. Бирюлин. – СПб: ГУИТМО, 2006. – 77 с.
6. Bondarenko V.I. The mathematical model of hydrodynamics and heat and mass transfer at formation of steel ingots and castings / V.I. Bondarenko, V. V. Bilousov, F. V. Nedopekin, J.I. Shalapko // Archives of Foundry Engineering. – 2015. – Т. 15. – № 1. – С. 13-16.

УДК 669.11:54-17:930.85

## ПОЛИМОРФИЗМ И ВОДОРОДНАЯ ОБРАБОТКА

*Гольцов В.А.*, д-р техн. наук, профессор,

*Гольцова Л.Ф.*, канд. техн. наук, *Котельва Р.В.*

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

*goltsov@physics.donntu.org*

**Введение.** Великий русский учёный и инженер Дмитрий Константинович Чернов в 1868 году обнародовал на заседании Русского технического общества своё выдающееся в мировом масштабе открытие: стали являются полиморфными твёрдыми телами и при их термической обработке претерпевают фазовые превращения. Это открытие

Д. К. Чернова предопределило деление «века железа» человеческой цивилизации на две эпохи: «ДО ЧЕРНОВА» и «ПОСЛЕ ЧЕРНОВА».

Полиморфизм металлов – важная составляющая научно-технической основы современной человеческой цивилизации. Великая значимость открытия Д.К. Черновым полиморфизма стали наиболее ярко проявилась в том, что в эпоху «ПОСЛЕ ЧЕРНОВА» всего за несколько десятилетий цивилизация железа достигла совершенно удивительного прогресса [1].

При этом одновременно с общим прогрессом инженерного мышления постоянно приходилось решать очень сложные «отрицательные» технические задачи. Например, начиная со времён Первой мировой войны металлургические, химические и нефтехимические производства постоянно претерпевали неполадки и даже крупные аварии, обусловленные тем, что водород, попадающий в сталь при производстве и эксплуатации, вызывал непредсказуемые аварии и даже крупномасштабные разрушения соответствующих производств. В 70-е годы XX века была выдвинута гипотеза и экспериментально подтверждено существование явления управляемого фазового наклепа металлов неизвестного ранее типа. Соответственно, зародилась и сформировалась новая область материаловедения, а именно, водородная обработка материалов.

**Цель.** Впервые появилась возможность с помощью водорода упрочнить, пластифицировать, изменять фазовый состав и подвергать дальнейшей необходимой обработке такие металлы, которые не обладают природным полиморфизмом (палладий, ниобий и др.).

**Основная часть.** После открытия Д. К. Черновым полиморфизма стали всего за несколько десятилетий цивилизация достигла совершенно удивительного прогресса. Напомним главные достижения эпохи железа “ПОСЛЕ ЧЕРНОВА”:

✓ сформирована новая техническая наука: металловедение и термическая обработка металлов (МИТОМ), разработаны сотни новых полиморфных сталей и сплавов – они служат основой новых (неизвестных при Чернове) областей современной техники;

✓ разработаны новые области МИТОМ на базе иных полиморфных металлов и сплавов, например, на базе сплавов титана – без них были бы невозможны целые области современной техники: авиация, ракетостроение;

✓ сформирована новая область физики – металлофизика, раскрывающая строение металлов на атомном, квантовом уровне;

На базе открытия Д.К.Чернова в СССР сформировались ведущие научные школы металловедения и металлофизики. Традиции этих школ свято чтут и продолжают развивать учёные Донецкого национального технического университета (ДонНТУ).

Хорошо известно, что большая группа металлов не являются полиморфными от природы (Pd, Nb и т.д.). Соответственно, методы их обработки и практического использования весьма ограничены.

В 1976 г. В.А. Гольцов и Н.И. Тимофеев сделали открытие [2]: они показали, что водород, введённый в неполиморфный металл, наделяет его новым свойством – быть полиморфным. Это явление получило название «индуцированный водородом полиморфизм». Оно имеет место как в полиморфных, так и в неполиморфных от природы металлах. Соответственно, на кафедре физики ДонНТУ в рамках «Проблемной научно-исследовательской лаборатории взаимодействия водорода с металлами и водородных технологий» (ПЛВМ-ВТ) несколько десятилетий исследователи изучают не только традиционные полиморфные стали и сплавы, но и такие неполиморфные металлы, как палладий, ниобий, ванадий и др. Применяя новую методику обработки таких металлов и сплавов в среде очищенного водорода, физики ДонНТУ научились вызывать развитие в них фазовых гидридных превращений. Главное: водород наделяет неполиморфные металлы новым фундаментальным свойством – быть полиморфными. За эти десятилетия сформировалась новая область МИТОМ, получившая название «Водородная обработка материалов» (ВОМ). Это действительно новая веха человеческой цивилизации «ПОСЛЕ ЧЕРНОВА».

Особенности водородофазового наклёпа (ВФН) металлов как физического явления проанализированы в [3]. Показано, что только водород, обладая комплексом уникальных возможностей, в состоянии возбудить столь характерное явление в металлах, каковым является управляемый ВФН. Именно развитие гидридных превращений, т.е. процесс осуществления фазовых переходов, – непременная предпосылка реализации ВФН, лежащая в основе его управляемости. При этом наличие гидридной фазы в конечной водородофазонаклепанной структуре – не обязательное условие; конечная упрочнённая структура может как содержать гидридные фазы (полифазонаклепанное состояние), так и не содержать их (монофазонаклепанное состояние). Конкретные схемы и режимы обработки на ВФН заключаются, например, в термоциклировании или бароциклировании, в насыщении водородом (из газовой фазы, электрохимическим методом) с развитием только прямого гидридного превращения заданной полноты и т.д. На завершающем этапе металл либо дегазируется полностью (монофазонаклепанное состояние), либо не дегазируется совсем или дегазируется частично (полифазонаклепанное состояние).

Водородофазовый наклёт вызывает регулируемое и весьма сильное упрочнение металлов. Например, сплавы на основе палладия используются как диффузионные мембранные фильтры для получения ультрачистого водорода и его изотопов. Водородные диффузионные фильтры эксплуатируются при температурах до 600 °С и при разности давлений на мембране до 30 МПа. Поэтому палладиевые сплавы для диффузионных фильтров должны иметь не только высокую водородопроницаемость, но и обладать высокими прочностными свойствами. ВФН-обработка позволяет поднять механические свойства этих сплавов до необходимого более высокого уровня.

**Заключение.** Явление ВФН и новые виды обработки (например, ВОМ) являются практически значимыми для различных областей современной индустрии (особенно для таких водородоопасных областей, как атомная энергетика, химия и нефтехимия, газотранспортная индустрия) и водородной энергетики будущего (термоядерные реакторы и т.д.) [3].

В долгосрочной перспективе практическая задача водородного материаловедения состоит в том, чтобы держать на должном уровне материаловедческое обеспечение вхождения в жизнь водородной энергетики, а в последующем – обеспечить материаловедческую базу движения человечества по экологически чистому вектору ‘Водородная энергетика → Водородная экономика → Водородная цивилизация’[4].

### **Список литературы**

1. Федоров А.С. Творцы науки о металле / А.С. Федоров. – М.: Наука, 1980. – 218 с. – Гл. IV. Металлургия становится точной наукой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metallurgu.ru/books/item/f00/s00/z0000010/st005.shtml>(дата обращения 20 мая 2019 г.).
2. Гольцов В.А. Явление фазового наклёпа в гидридообразующих металлах и сплавах / В.А.Гольцов, Н.И.Тимофеев, И.Ю.Мачикина // Докл. АН СССР. – 1977. – Т.235, №5. – С. 1060–1063.
3. Гольцов В.А. Водородная обработка материалов – новая область физического материаловедения / В.А.Гольцов // Перспективные материалы: учебное пособие / под ред. Д.Л.Мерсона. – Тольятти: ТГУ, 2017. – С. 5–118.
4. Гольцова Л.Ф. Мировое водородное движение: научные сообщества по водородной энергетике и водородному материаловедению. Исторические и современные аспекты (обзор) / Л.Ф.Гольцова, В.А.Гольцов // Инновационные технологии в материаловедении и машиностроении (ИТММ-2016) : матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 3–7 октября 2016 г.). – Пермь: ПНИПУ, 2016. – С. 45-48.

УДК 532.5:536.24.08

## **СНИЖЕНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ХОЛОДА В ШАХТНЫХ УСТАНОВКАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

**Дмитренко Н.А., Симоненко А.П.,** д-р техн. наук  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*zan.nikita@gmail.com*

**Введение.** Шахтные установки кондиционирования воздуха (ШУКВ) имеют сложную структуру и отличаются значительными затратами на сооружение и эксплуатацию. Важным резервом повышения эффективности работы ШУКВ может быть использование явления снижения гидродинамического сопротивления турбулентного трения (ГСТТ) хладоносителей в напорных трубопроводах. Введение в турбулентные потоки жидкостей добавок высокомолекулярных полимеров (ВП) и мицеллообра-

зующих поверхностно-активных веществ (МПАВ) приводит к существенному снижению ГСТТ [1]. При этом добавки также оказывают влияние на интенсивность турбулентного тепло- и массопереноса [2]. Для эффективного применения на практике, возникает необходимость исследования влияния гидродинамически-активных добавок (ГДАД) на тепловой режим работы ШУКВ.

**Цель.** Целью настоящей работы является оценка влияния ГДАД на магистральные потери холода в системе трубопроводов ШУКВ.

**Магистральные потери холода.** Общая длина магистральных трубопроводов в подземных стационарных установках кондиционирования воздуха может достигать десятков километров. Возникающий при этом теплообмен «трубопровод-окружающая среда» существенно влияет на производительность установок. Уравнение теплового баланса для выработки, по которой проложены трубопроводы основного хладоносителя, можно записать в следующем виде:

$$G(i_2 - i_1) = K_\tau ULt_n \pm \frac{\sigma L}{2} \sin \psi - (t_2 - t_1) + \Sigma Q_t - Q_x, \quad (1)$$

где  $G$  – расход воздуха;  $i$  – теплосодержание воздуха;  $K_\tau$  – коэффициент нестационарного теплообмена;  $U$  – периметр сечения выработки;  $L$  – длина выработки;  $t$  – температура воздуха;  $t_n$  – температура пород в начале выработки;  $\sigma$  – геометрический градиент;  $\psi$  – угол наклона выработки;  $\Sigma Q_t$  – суммарное тепловыделение в выработке от всех учитываемых источников тепла, за исключением теплообмена с породным массивом;  $Q_x$  – общие потери холода через стенки циркулярного трубопровода хладоносителя в выработке. Значения величин, входящих в это уравнение, кроме потерь холода  $Q_x$ , являются исходными данными и определяются по соответствующей методике тепловых расчётов [3].

Практика и расчёт показывают, что в интенсивно проветриваемых выработках при отсутствии или неудовлетворительной теплоизоляции, потери холода ( $Q_x$ ) через стенки трубопроводов хладоносителя составляют значительные величины. Принимая изменение температуры воздуха и хладоносителя по длине выработки линейным, а также учитывая, что в выработках обычно проложены прямая и обратная ветви циркулярного трубопровода хладоносителя, получаем следующее выражение для общих холодопотерь на расчётном участке:

$$Q_x = \frac{t_1 + t_2 - 2t_w'}{\frac{1}{Fk} - \frac{Fk}{4}G_w^2} - \frac{\Delta t_w}{\frac{1}{Fk} - \frac{1}{2}G_w}. \quad (2)$$

Здесь  $k$  – коэффициент теплопередачи;  $F$  – величина теплопередающей поверхности; штрихом обозначены величины для обратной ветви хладоносителя. В связи с тем, что диаметры используемых труб иногда превышают 300 мм, коэффициент теплопередачи можно определить, как для плоской стенки:

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_\xi}\right)}. \quad (3)$$

Здесь  $\alpha_w$  – коэффициент теплопередачи от хладоносителя к трубопроводу;  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – толщины стенок трубопровода и изоляции;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности степени трубопровода и материала изоляции;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от воздуха к трубопроводу;  $\xi$  – коэффициент влаговыделения. Коэффициенты, входящие в уравнение, определяются согласно соответствующим методикам [2, 3].

Введение ГДАД в хладоноситель приводит к снижению диссипативных холодопотерь. Поэтому представляется целесообразным рассчитывать величину  $\alpha_w$  как функцию величины снижения гидродинамического сопротивления. С учётом гидродинамической теории теплообмена, основанной на идеях Рейнольдса, Прандтля и др., а также принимая режим движения хладоносителя турбулентным с отсутствием больших градиентов давления и безотрывным течением, получим:

$$E = \frac{1}{1+12\sqrt{\frac{\lambda}{8}}(Pr^{\frac{2}{3}}-1)}. \quad (4)$$

Здесь  $Pr$  – безразмерный критерий Прандтля,  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трения. Качественный анализ выражения для коэффициента теплопередачи  $k$  свидетельствует о незначительном влиянии на него снижающих сопротивление добавок, а, следовательно, будет малым влияние добавок и на весь процесс теплообмена. Действительно, по порядку величины значения величин  $\alpha_w$  и  $\alpha$  существенно различны. Так значения  $\alpha_w$  лежат в интервале  $10^3 \div 10^5$ , а значение  $\alpha$  – в интервале  $10^0 \div 10^1$ . Это обуславливает то, что изменение величины  $\alpha_w$  за счёт введения добавок МПАВ практически не оказывает влияния на величину  $k$ .

**Диссипативные потери холода.** Другим фактором, отрицательно влияющим на тепловой режим в холодильных установках, является диссипация механической энергии движущегося хладоносителя в тепло. Были проведены работы [2] по оценке диссипативных потерь (см. рис.1).

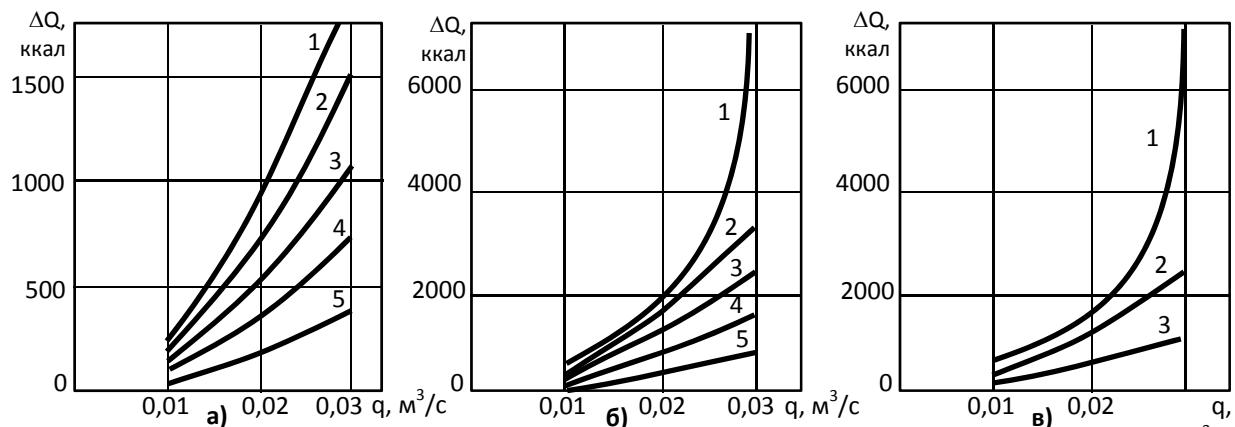


Рис. 1. Влияние величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления на магистральные холодопотери на участке длиной 1000 м ( $\varnothing = 100$  мм) (1, 2, 3, 4, 5 – соответствуют эффектам 0%, 20%; 40%; 60%; 80%): а) в гладких трубах; б) в шероховатых трубах ( $\Delta = 0.045 \div 0.050$ ); в) вода: шероховатая труба – 1; гладкая труба – 2; хладоноситель со сниженным на 80% сопротивлением: шероховатая труба – 3.

Из анализа результатов следует, что добавки МПАВ существенно снижают диссипативные потери как в гладких, так и в шероховатых трубах. При этом диссипативные потери хладоносителя с ГДАД в шероховатых трубах при максимальном эффекте снижения ГСТТ меньше, нежели диссипативные потери в гладких трубах без ГДАД.

**Заключение.** Гидродинамически-активные добавки ВП и МПАВ могут успешно использоваться для повышения эффективности работы централизованных систем холодоснабжения. За счет применения добавок существенно уменьшаются энергозатраты на транспортировку хладоносителей, а также на производство холода (за счет уменьшения диссипативных потерь).

### Список литературы

1. Симоненко А.П. Основные закономерности эффекта Томса и влияние различных факторов на его величину / А.П.Симоненко, Н.А.Дмитренко, П.В.Асланов, Н.В.Быковская // Вестник Автомобильно-дорожного института ДонНТУ. Донецк: АДИ ГОУ ВПО «ДонНТУ». 2016. № 2 (19). – С. 66-73. – ISSN 1990-7796.
2. Симоненко А.П. Сопротивление трения и теплообмен в турбулентных потоках водных растворов гидродинамически-активных полимеров и поверхностно-активных веществ / А.П.Симоненко, П.В.Асланов, Н.А.Дмитренко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – Донецк: ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», – № 3. – 2018. – С. 56-67.
3. Щербань А.Н. Справочное руководство по тепловым расчётам шахт и проектированию установок для охлаждения рудничного воздуха / А.Н.Щербань, О.А.Кремнев, В.Я.Журавленко. – Госгортехиздат, – 1960.

УДК 532.137.3

## ВИСКОЗИМЕТР ИЗ КАМЕРТОНА

**Манилова Г.В.<sup>1</sup>**, канд. физ.-мат. наук, **Авагян А.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НИУ «Московский институт электронной техники», г. Москва, РФ

<sup>2</sup>ФГОУ ВО «Российский государственный социальный университет», г. Москва, РФ

*consafe@yandex.ru*

Авторами данной работы проведено исследование *динамической вязкости* (или *коэффициента внутреннего трения*) различных жидкостей: воды, моторного и оливкового масел и др. Идея метода отличается от классического опыта Ньютона с плоскопараллельными пластинами и основана на измерении *декремента затухания* камертона, нагруженного капелькой жидкости, и камертона на «холостом ходу» [1].

Цель данного исследования состояла в следующем:

1. Изучении алгоритма определения вязкости жидкостей по колебаниям камертона и проверки практической возможности применения данного метода для различных жидкостей;

2. Сопоставлении других методов определения вязкости с исследуемым методом;

3. Калибровке метода с использованием жидкости с заранее известными динамическими характеристиками;

4. Формулировке социально значимой идеи о возможности применения данного метода.

Запись звука нагруженного и ненагруженного камертонов производилась нами с использованием программного обеспечения “**GoldWave**”. Определив по полученному графику коэффициент затухания, мы рассчитали динамическую вязкость по формуле

$$\eta = \frac{k}{\rho} \times \left( \frac{\Delta y}{S} \right)^2,$$

в которой:

$\rho$  – плотность жидкости,

$S$  – её площадь соприкосновения с камертоном,

$\Delta y$  – разность декрементов затухания,

$k$  – калибровочный коэффициент, зависящий от массы капли, частоты колебаний и способа измерений.

**Калибровка** производилась авторами эмпирическим путём с использованием жидкости с заранее известными характеристиками плотности и динамической вязкости. Этим методом нами была определена, в частности, динамическая вязкость трансмиссионного масла для КПП “**LIQUI MOLY TDL SAE 75 W-90**”, которая оказалась равной  $12 * 10^4$  Па<sup>•</sup>с, что в пределах погрешности измерений согласуется с определением этой величины другими методами.

Авторами изучена также *температура зависимость* вязкости, которую надо иметь в виду при сравнении данных проводимого эксперимента со справочными данными, определёнными другими методами. Авторы подтвердили, что данный метод работает для всех исследованных жидкостей, имеет достаточно хорошую точность и не зависит от внешних условий, поскольку в ходе эксперимента измеряется не декремент затухания, а **разность декрементов** ненагруженного и нагруженного камертонов. (На результат измерения декремента затухания влияет любое изменение внешних условий, а в разности декрементов всё изменения приводятся, т. е. взаимно уничтожаются).

Сравнение рассматриваемого метода с другими методами [2–5] определения динамической вязкости жидкостей, на основе которых работают вискозиметры, применяемые в настоящее время (такие как вибрационные, ротационные, капиллярные и шариковые и т. д.), выявило значительные **преимущества** данного метода, в том числе: меньшую стоимость, меньшее количество требуемой жидкости и неизменность параметров при измерении. На основании проведённого исследования авторы предлагают **социально значимую идею**: использование данного метода для определения вязкости крови при медицинских обследованиях. При необходимости массового

проведения такого обследования с использованием рассмотренного метода может быть получен значительный экономический выигрыш за счёт уменьшения времени исследования, взятия микропроб вместо стандартных проб и принципиальной дешевизны оборудования.

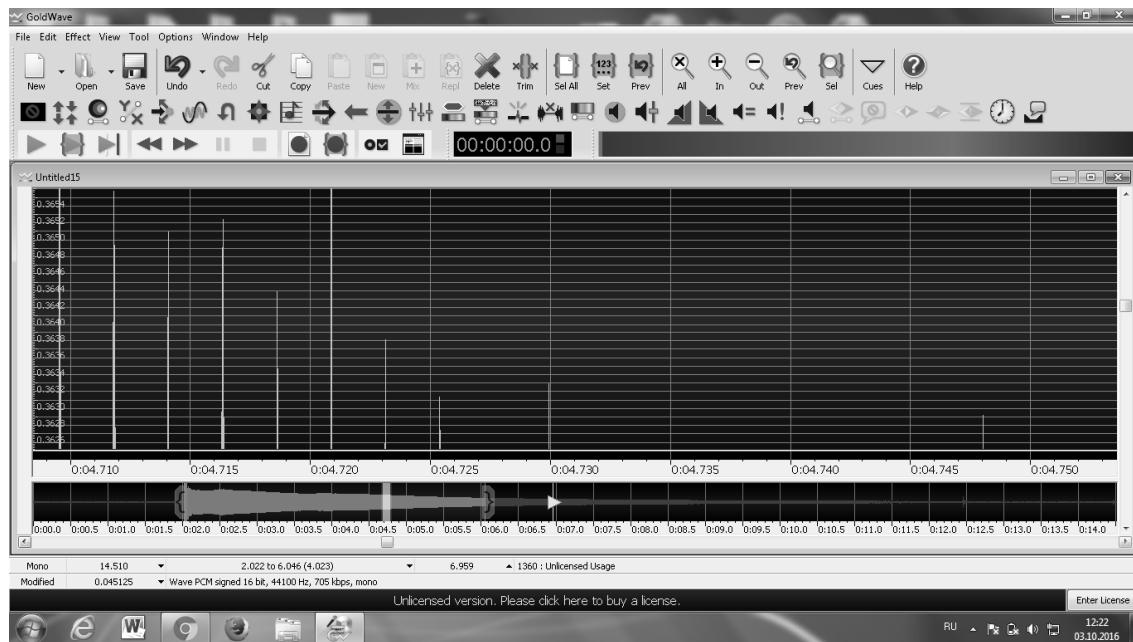


Рис. 1. Внешний вид окна программы “GoldWave”.

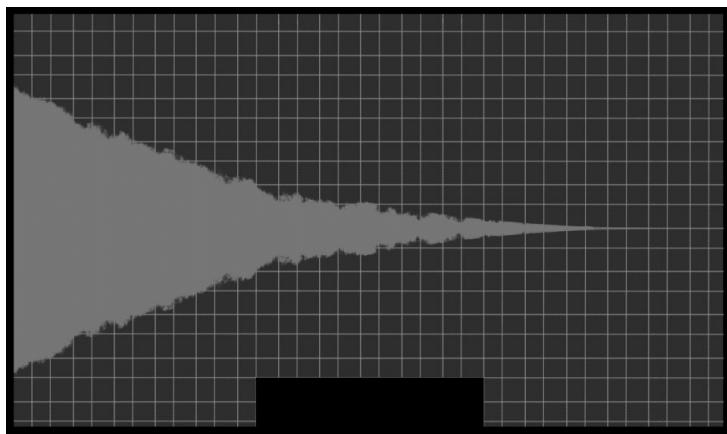


Рис. 2. Фрагмент звукозаписи, использованной в работе для определения декремента затухания.

## Список литературы

1. Пятаков А. П., Григал П. П. Лаборатория на коленке // Библиотечка КВАНТ. – 2009. – Вып. 112. – № 4. – С. 5-16.
2. Ремизов А. Н., Максина А. Г., Потапенко А. Я. Медицинская и биологическая физика. – 4-ое изд. – М.: Дрофа, 2003. – С. 113 - 121.
3. Самойлов В. О. Медицинская биофизика. – Санкт-Петербург: СпецЛит. – 2004. – С. 389-394.
4. Антонов В. Ф., Коржуев А. В. Физика и биофизика. Курс лекций для студентов медицинских вузов. – М.: Издательская группа “Гэотар-Медиа”, 2006. – С. 153-164.
5. Антонов В. А., Черныш А. М. Биофизика. – М.: Владос, 2000. – С. 181-187.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ  
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕРМОКОНЦЕНТРАЦИОННОЙ  
ГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ В СТАЛЬНЫХ РАСПЛАВАХ**

*Недопекин Ф.В.*, д-р техн. наук, профессор,  
*Белоусов В.В.*, д-р техн. наук, профессор,  
*Бондаренко В.И.*, канд. техн. наук, *Бодряга В.В.*, *Прохоренко С.Ф.*  
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*bondarenko@donnu.ru*

**Введение.** При моделировании ряда процессов в черной металлургии необходимо учитывать как гидродинамические, так и термоконцентрационные процессы. В период формирования стальных слитков следует не забывать о процессах кристаллизации в затвердевающем металле. Все эти указанные явления имеют место в ваннах промежуточного ковша и агрегата печь-ковш, в изложницах крупных стальных слитков и при переливе чугуна из емкости в емкость.

**Цель** работы – разработать обобщенную математическую модель, позволяющую учесть все вышеуказанные процессы.

**Основная часть.** Модель состоит из уравнений Навье-Стокса, теплопереноса, переноса примеси, неразрывности, переноса газовой фазы, турбулентности ( $k$ - $\varepsilon$  модель) и твердой фазы [1, 2]:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \vec{V} = \nabla \nu_s \nabla \vec{V} + \vec{g} \beta_T (T - T_0) + \vec{g} \beta_D (C - C_0) + f_V + \frac{3}{8} \frac{\beta \xi (V_{ez} - V_{mz})^2}{R_0} - \frac{1}{\rho} \nabla p; \quad (1)$$

$$\rho c \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) T \right] = \nabla \lambda_s \nabla T; \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) C = \nabla D_s \nabla C; \quad (3)$$

$$\nabla \vec{V} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial t} + \vec{V}_s \cdot \text{grad} \beta = f_\beta; \quad (5)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) k = \nabla \nu_s \nabla k + G - \vec{g} \beta_T (T - T_0) - \vec{g} \beta_T (C - C_0) - \varepsilon; \quad (6)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \varepsilon = \nabla \nu_s \nabla \varepsilon + C_1 \nu G - \frac{\varepsilon}{k} \frac{\nu_t}{\sigma_t} \vec{g} \beta_T (T - T_0) - \varepsilon^2 / k; \quad (7)$$

$$\xi(y) = 1 - \left( 1 + \frac{c}{W} (T_l - T_s) \right) \left[ 1 - \left( \frac{T_l - T}{T_l - T_s} \right)^{2/3} \right] + \frac{c}{W} (T_l - T_s). \quad (8)$$

Математическая модель базируется на принципах макроконтинуальной механики многофазных сред и теории квазиравновесной двухфазной зоны. Модель учитывает турбулентность, газозахват расплавом (в период наполнения изложницы), тепловую и смешанную конвекцию. Система уравнений (1–8) дополняется краевыми условиями.

**Вычислительный алгоритм.** Система уравнений (1–8) реализуется в переменных вихрь-функция тока ( $\omega$ - $\psi$ ), что является наиболее эффективным приемом при моделировании процессов переноса в плоской постановке с точки зрения экономии машинных ресурсов.

Строится неявная монотонная конечно-разностная схема с привлечением методов интегро-интерполяционного, «возмущенного» оператора, разности против потока и прогонки. Совокупность всех этих методов сводит нелинейные дифференциальные уравнения к цепочке алгебраических.

Работоспособность разработанной математической модели и вычислительного алгоритма доказана на примере ряда задач по разливке и затвердеванию слитков.

При разработке пакетов прикладных программ (ППП) учитывается, что металлургические процессы многофакторные и взаимообусловленные. Это требует организации больших входных и выходных потоков данных. Разработка соответствующих программных комплексов для технологов-металлургов требует больших значительных временных затрат. Поэтому предложены информационная технология и инструментальные средства для разработки ППП моделирования гидродинамических и тепломассообменных процессов в металлургическом производстве. Результаты применения созданной информационной технологии показали ее эффективность, в частности, сокращение трудозатрат.

**Заключение.** Предложенный математический инструментарий [3] позволяет моделировать следующие металлургические процессы:

- разливка крупных стальных слитков сверху или сифоном;
- формирование слитков с внутренним холодильником, композитных слитков и непрерывнолитых слитков;
- гидродинамические, теплофизические и газообменные процессы в ванне сталеразливочного и промежуточного ковшей;
- процессы в ванне агрегата печь-ковш;
- формирование слитков трубной и колесной стали [4];
- процессы образования тонкой металлической стеклянной ленты [5];
- формирование переохлажденного слитка [6];
- определение аэродинамических потоков при переливе чугуна из миксера в ковш [7].

## Список литературы

1. Недопекин Ф.В. Затвердевание металлов и металлических композиций. Учебник для вузов / Ф.В.Недопекин, В.Е.Хрычиков, В.А.Лейбензон и др. – Киев: Наукова думка, 2009. – 412 с.

2. Недопекин Ф.В. Тепломассоперенос в затвердевающем бинарном расплаве в условиях смешанной конвекции с учетом турбулентности / Ф.В. Недопекин, В.В. Белоусов, И.Л. Повх // ИФЖ. – 1994. – Т. 67. – № 3-4. – С. 202-208.
3. Бондаренко В.И. Математическое обеспечение и компьютерные технологии для моделирования гидродинамических и теплофизических процессов в металлургии: Монография / В.И. Бондаренко, В.Ф. Комаров, Ф.В. Недопекин и др. – Донецк: Юго-Восток, 2013. – 210 с.
4. Bondarenko V.I. Visualization of process of wheel steel high ingots simulation / V.I. Bondarenko, V. V Bodryaga, F.V. Nedopekin, V.V. Belousov // 3rd international scientific and technical conference on scientific and technical progress in ferrous metallurgy, satpifm 2017. – Institute of Physics Publishing, 2018. – С. 012002.
5. Bazdyreva Y.A. Hydrodynamics and heat and mass transfer during formation of thin metal glass tape / Y.A. Bazdyreva, V.V. Belousov, V.I.Bondarenko et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Т. 192. – № 1.
6. Баздырева Ю.А. Математическое моделирование формирования переохлажденного слитка FE80BA20 / Ю.А. Баздырева, В.В. Белоусов, В.И. Бондаренко и др. // Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии (КРИС-2019). Тезисы VIII Международной конференции. – Ижевск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», 2019. – С. 88-90.
7. Бодряга В.В. Экспериментальное исследование параметров выбросов при сливе чугуна из миксера в ковш на МК Азовсталь / В.В.Бодряга, В.В.Белоусов, Ф.В.Недопекин и др. // Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии (КРИС-2019). – Ижевск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», 2019. – С. 114-117.

УДК 538.93

## **КИНЕТИКА ФИЛЬТРАЦИИ И ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАНА НА ПОВЕРХНОСТЬ ПРИ ПРЕКРАЩЕНИИ ВЕДЕНИЯ РАБОТ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

*Стариков Г.П.<sup>1</sup>, д-р. техн. наук, профессор,  
Юрченко В.М.<sup>2</sup>, д-р. физ.-мат. наук, профессор  
Мельник Т.Н.<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, Подрухин А.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ГУ «Институт физики горных процессов», г. Донецк, ДНР

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

*ttt\_meln@rambler.ru*

При закрытии угольных шахт, отрабатывающих высокогазоносные угольные пласти, неизбежно происходит выделение метана на земную поверхность. Это обусловлено прекращением работы вентиляционного и насосного оборудования, определяющего заполнение выработанного пространства метаном. При наличии на поверхности зданий и сооружений возникает вероятность вытеснения из них воздуха метаном, обладающим более низкой плотностью и вязкостью. Опасность этого явления заключается

в способности метана замещать кислород, создавая атмосферу опасную для жизни человека, а также формировать взрывоопасные концентрации.

Проведен теоретический анализ кинетики фильтрации метана из выработанного пространства угольных шахт по направлению к поверхности и накопления метана внутри сооружений, расположенных над закрытыми выработками, где не проводится вентиляция и водоотлив. Оценено время достижения взрывоопасной концентрации метана внутри помещений и определена длительность периода ожидания с момента закрытия выработки, пока отсутствует проникновение газа в помещение. По данным о скорости накопления газа в помещении можно делать выводы о степени нарушенности и газопроницаемости вышележащих пород. Расчеты дают возможность прогнозировать результат закрытия отдельных выработок и нерентабельных шахт в целом.

Теоретически массоперенос метана из выработанного пространства на поверхность был описан при помощи уравнения Дарси [1]. Основной величиной, важной с практической точки зрения, является давление метана в объеме на поверхности,  $P_2(t)$ :

$$P_2(t) = P_e + 8\rho_0 RT_2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - \frac{P_1}{RT_1}}{n^2 \pi^2 - 1} \exp(-n\pi t) \quad (1)$$

где

$$P_e = P_1 \frac{h_1}{T_1} \left( \frac{h_1}{T_1} + \frac{h\gamma}{\tilde{T}} + \frac{h_2}{T_2} \right)^{-1} \quad (2)$$

– равновесная величина, достигаемая по окончании процесса и определяемая из условия материального баланса,  $\tilde{T}$  – средняя температура в толще породы;  $\gamma$  – объем фильтрационных каналов (открытая пористость горного массива),  $\gamma \sim 0.1$ . Высота выработанного пространства обозначена как  $h_1$ , давление и температура метана в нем равны  $P_1(t)$ ,  $T_1$ . Общая толщина вышележащих пород  $h$ . В некотором помещении на поверхности (высотой  $h_2$ ), метан накапливается (давление и температура  $P_2(t)$ ,  $T_2$ ). Время измеряется в единицах  $h^2/D_f$ .

При естественных для углепородного массива условиях ( $T_1 = 313 K$ ,  $T_2 = 293 K$ , вынимаемая мощность пласта  $h_1 = 2 m$ , глубина залегания пласта  $h = 700 m$  и высота помещения, где накапливается метан,  $h_2 = 2 m$ ) результирующее давление  $P_e$  составляет около 3 % от  $P_1$ . Соответственно, при  $P_1 = 3 \cdot 10^5 Pa$  [2]  $P_e \sim 10^4 Pa$ , т.е. парциальное давление метана достигает 10% от атмосферного давления. Такая концентрация метана в воздухе является взрывоопасной.

Более распространенной является ситуация, когда выработанное пространство после окончания разработки постепенно затапливается

водой. В известной мере такая постановка задачи упрощает решение, позволяя записать результат как

$$P_2(t) = P_1 \frac{T_2}{T_1} \frac{h_1}{\gamma h + h_2} \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{h}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\kappa P_1 t}} \right) \right) \quad (3)$$

где  $\kappa$  – коэффициент проницаемости породы ( $\text{m}^2$ ), а  $\mu$  – динамическая вязкость метана ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ).

Результат расчета представлен на рис.1: периоду заполнения метаном помещения на поверхности предшествует довольно длительный период ожидания, необходимый для перемещения газа в толще пород. Длительность этого периода варьируется от нескольких недель до нескольких лет, в зависимости о проницаемости и степени нарушенности породы.

Оценка времени достижения взрывоопасной концентрации метана

$$t_* = \frac{\pi}{4} \frac{h^2 \mu}{\kappa P_1} \left( \frac{P_{atm} C_*}{P_e} \right)^2 \quad (4)$$

Расчет показывает, что при  $\kappa = 10^{-15} \text{ м}^2$ , характерной для ненарушенных пород, время  $t_* \sim 10^9 \text{ с} \sim 30 \text{ лет}$ . С увеличением проницаемости (сообразно степени нарушенности) период накопления уменьшается: при  $\kappa = 10^{-14} \text{ м}^2$   $t \sim 10^8 \text{ с} \sim 3 \text{ лет}$ , а при  $\kappa = 10^{-13} \text{ м}^2$   $t \sim 10^7 \text{ с} \sim 4 \text{ месяца}$ .

Результаты расчета подтверждаются имеющимися данными о случаях взрыва или воспламенения метана в помещениях, расположенных над закрытыми некоторое время назад и затопленными выработками [3, 4].

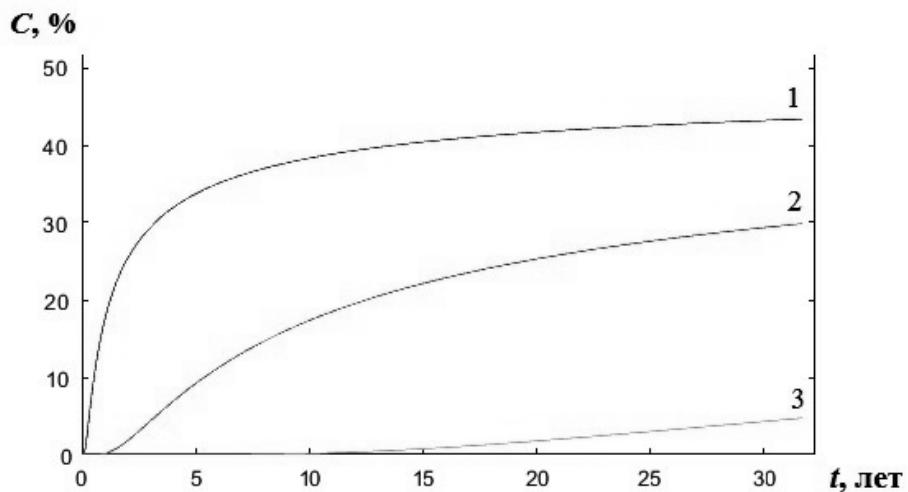


Рис.1. Зависимость концентрации метана в замкнутом объеме на поверхности  $C = (P_2(t)/P_{atm}) \cdot 100 \text{ \%}$  от времени при затоплении выработанного пространства.

Кривые 1, 2, 3 соответствуют различной проницаемости породы:  $\kappa_1 = 10^{-15} \text{ м}^2$  (ненарушенные породы),  $\kappa_2 = 10^{-14} \text{ м}^2$  (трещиноватые породы),  $\kappa_3 = 10^{-13} \text{ м}^2$  (разрушенные породы)

## **Список литературы**

1. Алексеев А.Д. Физика угля и горных процессов / А.Д. Алексеев. – Киев: Наукова думка, 2010. – 424 с.
2. Мазаник Е.В. Математическое моделирование массопереноса метана в подработанном углепородном массиве / Е.В.Мазаник, А.В.Борисенко, П.В.Ларионов // Экология, метанобезопасность: Сборник статей. Отдельный выпуск горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) / №OB8. – М.: Изд. «Горная книга», 2011. – С. 407-419.
3. Гавриленко Ю.Н. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины / Ю.Н.Гавриленко, В.Н.Ермаков, Ю.Ф.Кренида, О.А.Улицкий, В.А.Дрибан // Монография. – Донецк: Изд. «Норд-Пресс», 2004. – 631 с.
4. Стариakov Г.П. Методические основы определения времени формирования опасных концентраций метана в замкнутых объемах, расположенных на территории закрытых шахт / Г.П. Стариakov, А.А. Подрухин, Э.В. Борисенко // Труды РАНИМИ: сб. научн. трудов. – Донецк, 2018. – № 5 (20). – С. 128-144.

УДК 621.924.93:532.522

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГИДРОСТРУЙНЫХ МАШИН ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТОЧНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ С ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ-АКТИВНЫМИ ПОЛИМЕРАМИ**

**Фоменко С.А., Симоненко А.П.**, д-р техн. наук,

**Быковская Н.В.**, канд. техн. наук

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

Результаты лабораторно-стендовых исследований и натурных испытаний, полученные различными авторами, показали принципиальную возможность эффективного применения гидроструйных технологий, в основе которых лежит использование высокоскоростных свободных сплошных и импульсных струй, для разрезания и разрушения твердых материалов. Важным резервом повышения эффективности работы таких гидроструйных машин является использование в качестве рабочей жидкости водных растворов гидродинамически-активных высокомолекулярных полимеров – полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА).

За счет подавления турбулентности водорастворимые полимеры на 50-80 % снижают гидродинамическое сопротивление при турбулентном движении воды в напорных трубопроводах. Аналогичное воздействие микродобавки полимеров, при определенных условиях, оказывают и на струйные течения [4].

При использовании в качестве рабочих жидкостей растворов полимеров возрастают глубина реза, скорость перемещения обрабатывае-

мого материала относительно струи, а также повышается стойкость формирующих струю сопел.

Результаты проведенных исследований показали, что введение в рабочую жидкость растворимых высокомолекулярных полимеров приводит к улучшению геометрических параметров струи (повышению компактности и увеличению длины её основного участка). На рис. 1, где приведены фотоснимки струй чистой воды (А) и водного раствора ПЭО (Б).

Проведенные эксперименты по разрезанию различных листовых материалов струями заранее приготовленных растворов полиакриламида с молекулярной массой  $2 \cdot 10^6$  и  $C_n = 0,03\%$ , полиэтиленоксида с молекулярной массой  $M = 4 \cdot 10^6$  и  $C_n = 0,11\%$  [1–3] показали, что производительность процесса гидорезания возрастает в первом случае на 22–30,5 %, во втором на 25–35 % (табл. 1).

Улучшения геометрических и динамических параметров струи повышает производительность процесса резки. Поэтому расширяются технологические возможности струи как инструмента.

Однако приготовление однородных растворов из выпускаемых промышленностью полимерных порошков занимает много времени и требует громоздкого оборудования, а в процессе растворения ПЭО вследствие окисления кислородом воздуха наблюдается деструкция его макромолекул. Это приводит к уменьшению гидродинамической эффективности инжектируемого раствора.

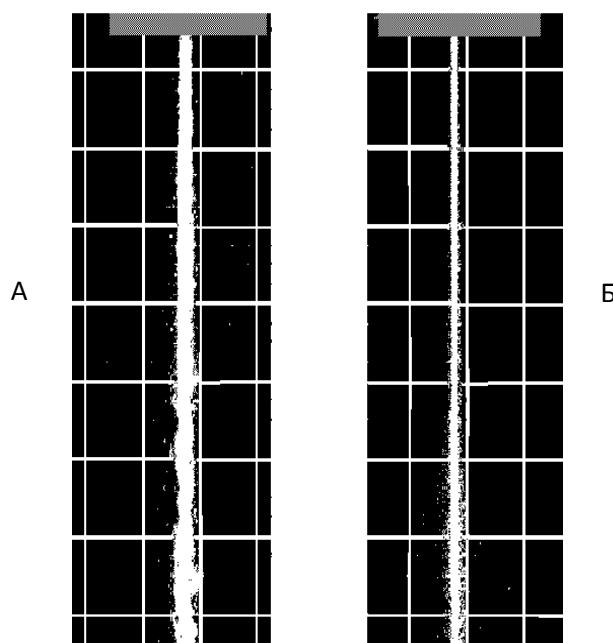


Рис. 1. Фотографии струи истекающей из сопла диаметром 0,15 мм при давлении 300 МПа. Цена деления шкалы – 2 мм. Рабочая жидкость: А – вода, Б – 0,05% водный раствор ПЭО,  $M=4 \times 10^6$

Таблица 1

Зависимость скорости перемещения разрезаемого материала относительно струи от давления истечения струи и состава рабочей жидкости

Обрабатываемый материал	Рабочая жидкость	Скорость подачи материала, $S$ , мм/с,			
		давление истечения струи $P$ , МПа			
		100	200	300	400
Винипласт	Вода	3,3	32,8	131,3	323,0
	ПАА (водный раствор)	4,0	41,0	169,0	406,0
	ПЭО (водный раствор)	4,2	41,8	173,0	426,0
Гетинакс В	Вода	2,6	25,0	95,6	247,8
	ПАА (водный раствор)	3,1	31,2	121,5	324,0
	ПЭО (водный раствор)	3,2	31,6	124,3	333,5
Стеклотекстолит	Вода	1,6	17,0	65,0	168,3
	ПАА (водный раствор)	2,1	21,0	83,8	220,0
	ПЭО (водный раствор)	2,2	21,2	85,3	226,0

Целью настоящей работы является совершенствование конструкций гидрорежущих машин за счет дополнительного введения в их состав проточного генератора приготовления рабочих жидкостей на основе воды и добавок гидродинамически-активных полимеров

В результате конструкторских и технологических проработок, было установлено, что наиболее простым в изготовлении и использовании является генератор рис. 2, активный элемент которого – вставка 3, представляет собой трубку с нанесенным покрытием из водорастворимого полимера закрепленную на водоподводящем перфорированном патрубке 2, который находится внутри толстостенного корпуса генератора 1.

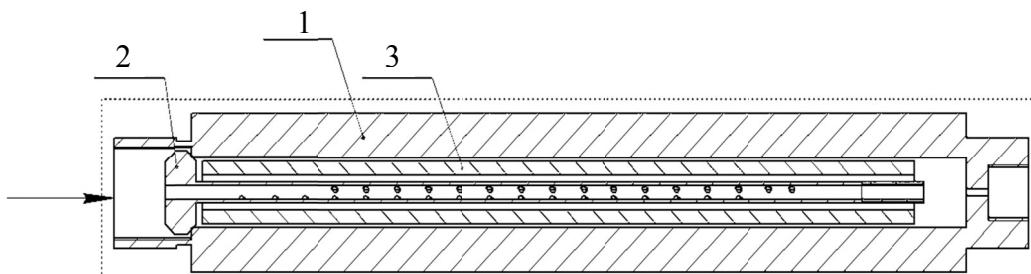


Рис. 2. Принципиальная схема проточного генератора для приготовления полимерных растворов

В предлагаемом генераторе вода, через перфорированный патрубок, поступает во внутреннюю полость, омывая вставку с нанесенной на нее твердой полимерной композицией. В результате размыва образуется полимерный раствор, который через выходное отверстие подается на сопловую головку.

Таким образом, использование генераторов такого типа позволяет значительно сократить время приготовления раствора жидкости, а также

исключить влияние окислительной и механической деструкций макромолекул, что дает возможность с большей эффективностью применять гидроструйные технологии в т.ч. и при решении экологических проблем.

### **Список литературы**

1. Семерчан А.А. Разрушение материала тонкими жидкостными струями высокого давления / А.А.Семерчан, Н.Н. узин, Г.И.Кузнецов и др. // Итоги науки и техники. Технология разработки твёрдых полезных ископаемых. – Т.12. – М.: ВИНТИ, 1976. – С.86-207.
2. Кудин А.М. О разрушении металлического препятствия струёй разбавленного полимерного раствора / А.М.Кудин, Г.И.Баренблatt, В.Н.Калашников и др. // ИФЖ. – Т.20. – 1973. – № 6. – С.1090-1094.
3. А.с. 1104280 (СССР). Жидкость для струйного воздействия на твёрдые материалы / Тихомиров Р.А., Петухов Е.Н. и др. – Опубл. в Б.И.,1984, № 27.
4. Ступин А.Б.Повышение эффективности гидроструйной резки конструкционных материалов / Ступин А.Б., Асланов П.В., Фоменко С.А. и др. // Международный сб. научных трудов "Прогрессивные технологии и системы машиностроения". – Донецк: ДонГТУ. – 1998.– Вып. 6, т. 3. – С. 145-148.

# **Стандартизация и метрология**

УДК 681.1:532.5.071.4

## **АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Асланов П.В.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, Лысых Я.А.<sup>1</sup>,  
Бодня А.С.<sup>1</sup>, Лаппа О.П.<sup>1</sup>, Потапов В.В.<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный медицинский университет

им. М. Горького», г. Донецк, ДНР  
*aslaov.fmpme@gmail.com*

Клинический анализ реологических свойств крови является на сегодняшний день такой же необходимостью, как и изучение состояния системы гемостаза, центральной и церебральной гемодинамики у пациентов с сердечно-сосудистой и цереброваскулярной патологией.

Комплекс гемостазиологических и реологических исследований характеризует условия циркуляции крови в различных отделах сосудистого русла, определяет факторы, непосредственно влияющие на внутри-сосудистую циркуляцию, и их взаимодействие.

Основное значение при оценке реологических свойств крови имеет вискозиметрическое исследование. Выполнение подобного исследования в лабораторных условиях занимает не более 10 мин, что позволяет рассматривать его как экспресс-тест.

В настоящее время имеется достаточно большое число исследований, свидетельствующих о наличии нарушений реологических свойств крови при ишемической болезни сердца, стенозирующем атеросклерозе нижних конечностей, сосудов головного мозга, гипертонической болезни и при некоторых гематологических заболеваниях.

К сожалению, гемореологические исследования не нашли такого широкого распространения в клинической практике, как отдельные тесты гемостазограммы. Это существенно ограничивает полноту и дифференцированность проведения корректирующих терапевтических мероприятий.

В то же время, значение биофизических и биохимических условий кровотока в различных отделах сосудистого русла определяется тем, что они лежат в основе окклюзионно-тромботических осложнений атеросклеротического процесса, а основные их клинические формы – инфаркт миокарда и ишемический инсульт – занимают первое и второе места среди причин смертности населения.

В ряде случаев выраженность нарушений текучести крови определяет тяжесть состояния больного, а иногда и прогноз заболевания. Современная терапия вышеперечисленных заболеваний должна быть

направлена на коррекцию нарушений реологических свойств крови, что требует определенного оснащения для контроля за вязкостью крови и гемодинамическими характеристиками кровотока в организме.

Основным требованием к аппаратуре для измерения вязкости крови является необходимость работы в заданных условиях потока – напряжений или скоростей сдвига. Выпускаемые зарубежными фирмами «Contraves» (Швейцария), «Haake» (ФРГ), «Anton Paar» (Австрия) и «Paar Phisica» (ФРГ) аппараты для измерения вязкости крови позволяют корректно проводить эти измерения, но представляют собой сложные и дорогостоящие комплексы, ориентированные на решение исследовательских задач.

В настоящей работе авторы ставили своей целью разработать оборудование для лабораторной оценки состояния реологических свойств крови.

Известно, что объёмный расход жидкости  $Q$  при течении по цилиндрическим трубкам связан с перепадом давления  $\Delta P$  обеспечивающим преодоление сил трения при течении жидкости соотношением [1]:

$$\Delta P = 8\lambda l \rho Q^2 / \pi^2 d^5,$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидродинамического сопротивления;  $l, d$  – длина и диаметр трубки, соответственно;  $\rho$  – плотность жидкости.

Вязкость жидкости  $\mu$  определяется по формуле Пуазейля для ламинарного течения в трубке [1]:

$$\mu = \pi d^4 \Delta P / 128 Q^2 l.$$

Таким образом, обеспечивая экспериментальное определение объёмного расхода жидкости  $Q$  и перепада давления  $\Delta P$  можно вычислить коэффициент гидродинамического сопротивления жидкости при различных режимах течения (в частности кровотока в сосудах), а также определить реологические характеристики жидкости.

Для проведения реологических экспериментов с кровью, ее компонентами и кровезаменителями нами была изготовлена капиллярная гидродинамическая установка пульсационного типа, принципиальная схема которой представлена на рисунке.

Исследуемая жидкость из резервуара с исследуемой жидкостью поршнем вытесняется через сменный капилляр (в зависимости от цели измерений диаметром 0,5÷4 мм.) в приемный резервуар. Поршень приводится в движение с помощью электродвигателя постоянного тока PIVT 6-25/3А и эксцентрика обеспечивающего преобразование вращательного движения вала редуктора в возвратно-поступательное движение поршня. Скорость движения поршня (следовательно, и объёмный расход жидкости в капилляре  $Q$ ) задается изменением частоты вращения двигателя (за счет изменения напряжения питания) и контролируется

таксогенератором на оси двигателя. Потери давления на трение на рабочем участке капилляра  $\Delta P$  измеряются дифференциальным манометром PXLA12X5GN фирмы SensorTechnics. Управление режимами работы установки и запись результатов измерений производится с помощью блока управления в состав которого входят: коннекторный блок ввода/вывода NI SCB 68; плата сбора данных NI PCIe 6323 и персональный компьютер с программным пакетом Signal Express, которые являются стандартизованными продуктами National Instruments. Их характеристики подробно описаны в [2-4].

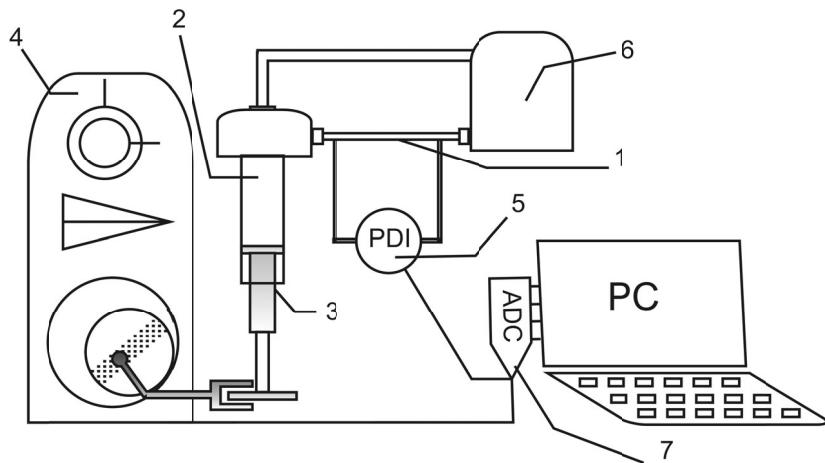


Рис. 1. Капиллярная гидродинамическая установка для исследования гидродинамического сопротивления различных жидкостей при пульсационном режиме течения: 1 – система сменных капилляров; 2 – система сменных резервуаров с исследуемой жидкостью; 3 – поршень; 4 – блок редуктора с электродвигателем, тахогенератором и эксцентрично расположенным ротором; 5 – дифманометр; 6 – приемный резервуар для жидкости; 7 – блок управления

### Выводы.

1. Разработанный стенд обеспечивает высокую степень автоматизации эксперимента и широкие возможности компьютерной обработки измерительных данных при исследовании крови и кровезаменителей.
2. Конструкция и электронная система стенда собраны из доступных и недорогих элементов и могут быть рекомендованы для повторения и внедрения в медицинских лабораториях и учебный процесс по дисциплинам, связанным с измерениями и метрологическим обеспечением.

### Список литературы

1. Повх И.Л. Техническая гидромеханика / И.Л.Повх. – М.: Машиностроение, 1976. – 504 с.
2. AMG SCB-68 68-pin shielded connector block user manual. – National Instruments, 2002. – 104 p.
3. AMI DAQ X Series: X series user manual. – National Instruments, 2010. – 290 p.
4. AMI Getting started with SignalExpress. – National Instruments, 2009. – 38 p.

## ОБРАБОТКА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ТЕРМОАНЕМОМЕТРА ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ NI LABVIEW

*Васильева А.В., Болонов Н.И., д-р техн. наук, профессор,  
Лебедев В.Н., Пометун Е.Д.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*Alternativa19031992@rambler.ru*

**Введение.** Понимание основных процессов и получение детальных характеристик атмосферы и гидросферы, а также их взаимодействие между собой представляет значительный интерес для науки. Наблюдение за физическим состоянием атмосферы зачастую осуществляется инструментальным способом. Инструментальный способ основан на введении в измеряемую среду измерительного зонда, содержащего соответствующий термоанемометрический элемент.

Многие процессы, имеющие место в атмосфере, требуют измерения подвижным измерителем. Измерения движущимся преобразователем являются актуальными при исследовании явлений в атмосфере, в океане, в технологических устройствах. Метод зондирования по своей информативности является высокоинформационным и при статистической обработке с осреднением по ансамблю реализаций может давать количественные характеристики явления.

Средства измерения температуры и скорости (измерительные преобразователи, приборы, установки или информационные измерительные системы) не могут обеспечить определение истинного значения исследуемого объекта, поскольку физические принципы и исходные условия проведения измерений в той или иной степени оказываются нарушенными. Результаты измерений будут отличаться от их истинных значений на величину, называемую погрешностью измерения.

**Основная часть.** Термоанемометрический метод относится к тепловым методам, получившим широкое применение при измерении параметров газовых потоков [1]. Термоанемометры (ТА) подразделяются на два основных типа: термоанемометры постоянного тока и постоянной температуры (сопротивления). В ТА постоянного тока величина тока, питающего чувствительный элемент (ЧЭ), поддерживается постоянной, независимо от изменения температуры и скорости потока. В ТА постоянной температуры сопротивление и, следовательно, температура ЧЭ, поддерживаются постоянными с помощью схемы обратной связи (ОС), позволяющей улучшить динамические характеристики системы [2].

Наряду с достоинствами термоанемометрического метода, такими как сравнительная простота и дешевизна средства измерений, а также

малая область осреднения датчика, существенным недостатком ТА является сильная зависимость выходного электрического сигнала от температуры газового потока. Универсального способа устранения температурной зависимости (термокомпенсации) не существует, в каждом конкретном случае выбирается оптимальный метод, основанный на различных технических решениях [3]

Целью данной работы является разработка виртуальной лаборатории на базе программного обеспечения NI LabVIEW, позволяющей выполнять измерения скорости неизотермического потока в реальном масштабе времени с помощью термоанемометра постоянной температуры.

Для использования термоанемометра в неизотермическом газовом потоке, необходимо вначале получить семейство градуировочных характеристик при различных скоростях и температурах потока (выполнить его градуировку по температуре и скорости). Измерения выполнялись в диапазонах изменения температуры – от 23°C до 45°C и скорости – от 1 до 10 м/с, полученные зависимости для ТА постоянной температуры. Регистрация выходного сигнала ТА выполнялась специализированной измерительной системой, состоящей из коммутатора фирмы NI SCB-68, аналогово-цифрового преобразователя и среды графического программирования LabVIEW.

**Заключение.** Предложены и экспериментально апробированы алгоритмы термокомпенсации выходных сигналов термоанемометров постоянного тока и постоянной температуры. Рассмотренные алгоритмы могут быть использованы для составления программ обработки выходных сигналов ТА при измерении скорости и температуры неизотермического газового потока в реальном масштабе времени с применением различных технических средств, например, в среде графического программирования LabVIEW.

## Список литературы

1. Ярин Л.П. Термоанемометрия газовых потоков/ Л.П.Ярин, А.Л.Генкин, В.И.Кукес. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 198 с.
2. Пометун Е.Д. Исследование функций аппроксимации градуировочной характеристики термоанемометра в неизотермическом газовом потоке / Е.Д.Пометун, В.Н.Лебедев // Сборник научных трудов «Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе», №1(8)–2(9)'2015.
3. Hultmark M. Temperature corrections for constant temperature and constant current hot-wire anemometers / M.Hultmark, A.J.Smits //Measurement science & technology. – 2010. – Т. 21. – №. 10.

## О МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ НЕКОТОРЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТА ТОМСА

**Золотарёва И.А., Симоненко А.П.**, д-р техн. наук  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк  
*artyomova\_i@mail.ru*

**Введение.** Применяемые методы экспериментальных исследований должны базироваться на законах метрологии – науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

К большому сожалению, при исследованиях эффекта Томса – явления снижения гидродинамического сопротивления турбулентного трения (ГСТТ) жидкостей в напорных трубопроводах, путем введения гидродинамически-активных высокомолекулярных полимеров (ВМП), в ряде случаев требования законов метрологии не выполняются. Это не позволяет в полной мере сравнивать полученные различными авторами результаты, приводит к ошибочным выводам при трактовании механизма воздействия добавок ВМП на турбулентность, обесценивает практические рекомендации по гидродинамическому проектированию гидравлических систем с применением явления снижения ГСТТ. В свете вышеизложенного предложенные тезисы, в которых впервые рассматривается необходимость совершенствования метрологического обеспечения экспериментальных исследований эффекта Томса, являются весьма актуальными.

**Цель работы** – обоснование необходимости совершенствования метрологического обеспечения экспериментальных исследований эффекта Томса в части касающейся: определения коэффициента гидродинамического сопротивления трения, устойчивости макромолекул к механической деструкции и изучения тонкой структуры турбулентности в однородных водных растворах полиэтиленоксида и полиакриламида.

*Капиллярные турбореометры и трубные стенды.* В большинстве публикаций авторы работ приводят результаты экспериментальных исследований влияния микродобавок ВМП на гидродинамическое сопротивление турбулентного трения, полученные с применением турбулентных реометров – установок разомкнутого типа, основным рабочим узлом которых являются капилляры с внутренним диаметром 1-3 мм, а также в различных трубных стендах. Однако следует отметить, что влияние геометрических параметров труб, закона изменения гидродинамического сопротивления вдоль по течению потока, скорости его течения и параметров начальных участков труб на величину эффекта снижения ГСТТ не учитывается. Так, например, введение ВМП в турбулентный поток жидкости увеличивает длину начального участка в среднем в 2 раза за счет формирования ориентационного эффекта анизометрических частиц.

Установки с коаксиальными цилиндрами целесообразно использовать при изучении процессов механической деструкции макромолекул ВМП в растворах. Такие установки обеспечивают проведение исследований вышеуказанных процессов в условиях постоянного во времени сдвига.

Принципиальные схемы установок с коаксиальными цилиндрами различных модификаций приведены в работе [1].

Кроме этого, не все авторы публикаций учитывают, что гидродинамически-активные добавки вносят изменения в работу измерительных приборов. В частности, они вызывают заниженные показания трубок Пито-Прандтля. При этом ошибка измерения увеличивается с уменьшением диаметров их входных отверстий и с увеличением скорости течения. Полимерные молекулы и их ассоциаты экранируют входные отверстия трубок полного напора, подобно действию твердых частиц, которые переносятся потоком. Использование термоанемометров сопровождается появлением аномальных импульсов, обусловленных изменением теплоотдачи в полимерных растворах при налипании полимерных молекул на нагревательный элемент.

*Лазерный допплеровский измеритель скорости (ЛДИС)* является примером оптимального использования при исследовании тонкой структуры турбулентных течений жидкостей в трубах и каналах

Скорость потока жидкости в измерительном объеме определяется по формуле [2, 3]:

$$U = \frac{\lambda \cdot f_g}{2 \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \alpha}, \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина волны лазерного луча, м;  $f_g$  – измеренная при помощи ЛДИС частота допплеровского сигнала,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\theta$  – угол между пересекающимися лазерными лучами;  $\alpha$  – угол между осью, перпендикулярной биссектрисе угла лазерных лучей, и вектором измеряемой скорости  $\bar{U}$ .

Принцип работы оптического блока и устройства для его перемещения по сечению потока подробно описан в работах [2, 3].

Автором работы [3] проанализированы факторы, влияющие на точность определения скорости с помощью ЛДИС. Исходя из формулы, связывающей скорость течения жидкости  $U$  с допплеровской частотой  $f_g$ , относительную погрешность измерения можно представить в виде:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0} + \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} \Delta \frac{\theta}{2} + \operatorname{ctg} \alpha \Delta \alpha + \frac{\Delta f_g}{f_g}. \quad (2)$$

Первое слагаемое этого равенства  $\Delta \lambda_0 / \lambda_0$  представляет собой возможную ошибку измерения за счет неточности определения длины волны лазерного измерения. Им можно пренебречь, поскольку при ширине спектра излучения лазера  $1500 \text{ МГц}$  и частоте излучения  $4,74 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$  величина  $\Delta \lambda_0 / \lambda_0 \approx 3 \cdot 10^{-6}$ . Рассчитанная по общепризнанной методике ошибка определения угла  $\theta$  при  $\theta/2 \approx 3,5^\circ$  составила  $5 \cdot 10^{-3}$ , а погрешность в измерении угла  $\alpha$ , при значениях  $\alpha \approx 90^\circ$  не превышает  $10^{-3}$ . Следует

отметить, что обе эти погрешности являются систематическими. Поэтому основной вклад в относительную погрешность измерения величины  $U$  вносит только ошибка определения допплеровской частоты.

При анализе экспериментального материала используются значения динамической  $U_*$  и расходной скорости, коэффициента кинематической вязкости раствора  $\vartheta$ , линейные размеры  $y$ ,  $\delta$ ,  $H$ , плотность раствора  $\rho$  и касательное напряжение трения на стенке  $\tau_w$ , вычисленные из измеренных в процессе экспериментов величин (потери напора на трение на участке канала длиной  $l$ , объемный расход жидкости  $Q$  и т.п.). Расчеты относительной погрешности определения указанных величин представлены в [3].

### **Заключение.**

1. В установках для экспресс-оценки гидродинамической эффективности ВМП в однородных растворах необходимо использовать способы измерения расхода жидкости в трубах при стабилизированных течениях по измеряемому объему вытесняющей жидкости и времени ее истечения.

2. Исследования процессов механической деструкции макромолекул ВМП в растворах целесообразно проводить на установках с коаксиальными цилиндрами специальной конструкции, которые обеспечивают течения в условиях чистого сдвига.

3. При исследовании тонкой структуры в потоках растворов с гидродинамически-активными добавками необходимо использовать для оптически прозрачных сред лазерный допплеровский измеритель скорости (ЛДИС), а для непрозрачных – ультразвуковой допплеровский измеритель.

### **Список литературы**

1. Симоненко А.П. Гидродинамически-активные композиции на основе полимеров и поверхностно-активных веществ для решения проблем экологической безопасности и энергосбережения: дис. ... д-ра техн. наук: 21.06.01. – Донецк, 2013. – 397 с.
2. Чернюк В.В. Регулювання інтегральних параметрів напірних потоків рідин гідродинамічно-активними додатками [Текст]: дис. на здобут. вчен. ступ. докт. техн. наук: 05.23.16. – Львів, 2010. – 310 л.
3. Асланов П.В. Особенности влияния добавок мицеллообразующих веществ на структуру турбулентных потоков жидкости [Текст] : дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук : 01.02.05. – Донецк, 1986. – 186 л.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ВИДА МИНЕРАЛОВ В ГЛУБОКОВОДНЫХ УСЛОВИЯХ

*Сальченко Е.С.<sup>1</sup>, Шкель А.С.<sup>1</sup>, Целик М.С.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, РФ

**Введение.** Нами была выдвинута гипотеза о том, что можно сэкономить время и затраты на изучение и нахождение минералов, в частности монацитов, которые являются одним из источников получения лёгких лантаноидов и тория, а также иттрия. Предполагается, что определить тип минерала под водой можно без обязательного подъема на поверхность. Методика должна быть доступной и несложной в выполнении для водолазов. Во время исследования принимался во внимание факт, что в число минералов обычно не включаются высокомолекулярные органические образования, не отвечающие в большинстве случаев требованиям кристалличности и однородности [1, 2].

**Предмет исследования:** методика определения минералов под водой при помощи специальных контейнеров.

**Цель** исследования заключалась в создании специальной методики определения типа минералов на глубине до 200 метров, не требующая подъема на поверхность.

**Новизна** исследования заключается в определение типа минералов без подъема на поверхность. Так как, предлагается абсолютно новая и не требующая подъема на сушу минерала методика, то проведенное научное исследование является актуальным.

**Основная часть.** Для определения минералов в лаборатории известно множество методик, но для всех этих исследований нужны приборы, и для определения типа минерала они не подходят, так как нужен подъем на поверхность, а предметом наших исследований являлась возможность проведения анализа в подводных условиях. Можно сделать вывод, что наиболее подходящим под эти условия является качественный анализ. Предположим, что нас интересуют залежи минералов на морском дне. Проведя системный анализ, мы увидели, что тремя наиболее распространенными минералами являются ильменит, циркон, монацит, в состав которых входят титан (Ti), торий (Th), гафний (Hf) [2].

В снаряжении у геоводолазов должно присутствовать специальное оборудование, предназначенное для реализации нашей методики. Погружаясь на глубину до 200 м, они находят предполагаемый минерал. Затем пробу минерала помещают в специальные контейнер с 10 %-ной серной кислотой. Необходимо использовать пластиковые полиэтиленовые

контейнеры, так как стекло может лопнуть от давления на глубине 200 метров. Конструкция этих контейнеров состоит из 4 отсеков, отделенных друг от друга 4 клапанами Принцип действия заключается в следующем: когда геоводолазы открывают первый клапан, вещество попадает во первый отсек. Первый клапан закрывается. Затем открывается второй клапан, и проба минерала отделяется от воды с помощью водоотделительного отсека. После удаления воды закрывается второй клапан и открываются третий и четвертый клапаны, в следствие чего минерал попадает в четвертый отсек, в котором находится кислота. При этом происходят химические реакции:

- 1)  $2\text{Ti} + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Ti}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2$  – образуется зеленый осадок кристаллического состава
- 2)  $\text{Th} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Th}(\text{SO}_4)_2 \downarrow + 2\text{H}_2$  – образуется кристаллогидрат, бесцветный осадок
- 3)  $\text{HfF}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 [\text{Hf}(\text{SO}_4)_2\text{O}] + 4\text{HF} \uparrow$  – бесцветный осадок
- 4)  $\text{ZrSiO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Zr}(\text{SO}_4)_2 + \text{H}_4\text{SiO}_4$  – бесцветный осадок

Для того, чтобы определить выделяющиеся газы, в контейнере в 3 отсеке находится индикаторная бумага. При выделении  $\text{H}_2$  ее цвет не изменится, а при  $\text{HF}$  – окрасится в красный цвет.

Четвертый клапан, отделяющий третий и четвертый отсеки необходим для того, чтобы при транспортировке контейнера серная кислота не контактировала с индикаторной бумагой.

Таким образом по цвету осадка и выделяющемуся газу определяется тип материала

**Заключение.** В ходе данного исследования, был предложен новый метод определения типа минералов на значительной глубине, пригодный для геоводолазов и не требующий подъема на поверхность. Определены особенности минералов и их свойства. Исследование показало, что данная методика поможет сократить время при определении минералов для дальнейшего использования их в промышленности. Для того, чтобы у нашей методики не было погрешности в проведении эксперимента, был произведен расчет давления, которое будет действовать на пробирку на глубине.

### Список литературы

1. Пыляев М.И. Драгоценные камни: их свойства, месторождения и употребление. – СПб.: Издание А.С. Суворина, 1888.– 402 с.
2. Ворошилов Ю.В., Павлишин В.И. Основы кристаллографии и кристаллохимии. Рентгенография кристаллов. – К: КНТ, 2011. – 568 с.

## РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЕМ ГОРОДОВ И СОСТОЯНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

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

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет»,  
г. Орехово-Зуево, РФ  
*turbdon@mail.ru*

На протяжении ряда лет направленность исследований и разработок в СКТБ «Турбулентность» определялась проблемными вопросами, возникающими в различных сферах функционирующего городского хозяйства. Из перечня таких исследований и разработок, в качестве примера, можно привести следующие:

**1 Измерители расхода и тяги**, разработанные в соответствии с «Региональной программой по охране жизни и здоровья людей на производстве и в быту» по заказу Управления труда и занятости населения Донецкой облгосадминистрации, Донецкой госинспекции охраны труда в газовом и жилищнокоммунальном хозяйстве.

Приборы предназначены для измерения расхода воздуха в вентиляционных каналах и разрежения в дымовых каналах газифицированных жилых и производственных помещений на соответствие государственным нормативным актам, строительным нормам и правилам [1].

Такими приборами оснащены практически все городские газовые хозяйства Украины, жилищнокоммунальные предприятия и обслуживающие управляющие компании всех районов г. Донецка и других городов.

**2 Автономные измерители скорости и температуры** воздушных потоков предназначенные для измерения в системах вентиляции, кондиционирования, параметров микроклимата в рабочей зоне производственных и бытовых помещений в соответствие с требованиями СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», ДСН 3.3.6.42-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений». Стабильность метрологических характеристик измерителей данной серии подтверждена аттестацией ВНИИМ им. Д.И. Менделеева (г. Санкт-Петербург, Россия), что предопределило их длительное использование ГП «Донецкстандартметрология» в качестве эталонного средства измерения скорости [2].

В ДНР приборы используются на таких градообразующих предприятиях, как концерн «Стирол» г. Горловка, Харцызский трубный и канатный заводы, Зуевская, Старобешевская ТЭС и др.

### **3 Комплексные работы, включающие:**

- периодические локальные обследования систем городского водоснабжения (измерение в трубопроводе расхода, профиля скорости потока с дистанционной передачей результатов измерений) и узлов учета хозяйствственно-бытовых стоков на очистных сооружениях;
- измерения расходов жидкости в безнапорных каналах систем водоснабжения и канализации;
- гидрологическое обследование окрестных водоемов (каскад городских прудов – Первый, Второй, Третий; Донецкое водохранилище с водотоками).

В настоящее время особо остро стала проблема экологии и охраны окружающей среды, для решения которой производятся экспериментальные исследования, мониторинг состояния водных и воздушных бассейнов, рек, водоемов, морей и океанов, поскольку интенсивное использование водных ресурсов, связанное с расходованием, потерями и, главным образом, загрязнением вод оказывает существенное влияние на состояние гидросферы в глобальных масштабах.

Истоки планетарных проблем зачастую находятся на региональных, местных уровнях, то есть на уровне проблем конкретного региона, города, населенного пункта.

Решение этих проблем требует разработки информационно-измерительной аналитической системы управления состоянием окружающей среды, основанной, в том числе, на постоянном автоматизированном мониторинге гидрологического состояния природных питающих водных объектов и их водотоков [3].

Как видно, основными видами работ в этом перечне являются: определение динамических характеристик потока – измерение природных расходов воды; съемки скоростного поля. Для проведения таких работ необходимо иметь соответствующие метрологически аттестованные измерители и оборудование.

### **4. Электромагнитные измерители расхода жидкости.**

Среди многих типов применяемых датчиков расхода жидкости электромагнитные измерители занимают особое место как наиболее точные и совершенные средства измерений [4].

Используя имеющийся задел по созданию электромагнитных измерителей скорости потока жидкости [5], в настоящее время в СКТБ «Турбулентность» ведутся поиски перспективных и оптимальных конструкций первичных измерительных преобразователей. Результаты разработок и исследований отражены в отчетах по госбюджетным НИР, а также представлены на Международных научно-практических конференциях [6–8].

### **Список литературы**

1. Силенко Е.М. Инструментальный метод обследования вентиляционных и дымовых каналов в газифицированных помещениях жилых и общественных зданий /

- Е.М.Силенко, С.Е.Силенко, А.С.Бодня, В.Е.Силенко // Journal of Instrument Engineering. 2018. Vol. 61, N 1. P. 66—71 (in Russian).
- 2. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-1-66-71
  - 3. Бодня А.С. Особенности метрологической аттестации и методики выполнения измерений расхода воздуха в системах вентиляции с использованием прибора «АИСТ-5» и измерительной воронки / А.С. Бодня, Н.А.Пригода, В.Г.Чеплюков, Е.М.Силенко // Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Донецкого национального университета по итогам научно-исследовательской работы за период 2009-2010 гг. Т.1 / Под ред. П.В. Егорова, С.В. Беспаловой. – Донецк: Цифровая типография, 2011. – С. 147.
  - 4. Силенко Е.М. Измерители поля скорости для гидрологического обследования водных объектов / Е.М.Силенко, С.Е.Силенко, Б.А.Готин и др. // Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы III Международной научной конференции (Донецк, 25 октября 2018 г.). – Том 1: Физико-математические и технические науки / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2018. –С. 42–44.
  - 5. Велигурский А.М. Электромагнитные измерители средней скорости потока / А.М.Велигурский, В.А.Горячев, А.Г. Славный // Физическая гидродинамика. Сборник научных трудов. – Донецк: ДонГУ, 1990 – С 99-105.
  - 6. Силенко Е.М. Использование магнитогидродинамического метода в измерителях поля скорости потока жидкости / Е.М.Силенко, В.Г.Чеплюков // Физическая гидродинамика. Сборник научных трудов. – Донецк: ДонГУ, 1990. – С. 93-98.
  - 7. Силенко В.Е. Цифровой электромагнитный измеритель расхода жидкости / В.Е.Силенко, Е.М.Силенко, С.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.
  - 8. Силенко В.Е.. Двухкомпонентный электромагнитный первичный измерительный преобразователь скорости электропроводящей жидкости / В.Е.Силенко, Е.М.Силенко, С.Е.Силенко и др. // Современные проблемы физико-математического образования: Сборник материалов VII Международной заочной научно-практической конференции. Орехово-Зуево, 12 декабря 2017 г. – С. 88-91.
  - 9. Силенко Е.М. Экспериментальное исследование датчиков завихренности потоков жидкости / Е.М.Силенко, С.Е.Силенко, В.Е.Силенко и др. // Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Орехово-Зуево, 12 декабря 2018 г. / под общ. ред. Э.В. Завитаева. – Орехово-Зуево: Редакционно-издательский отдел ГГТУ, 2018. – 127 с. –С. 49–53.

УДК 621

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ АТ 1105

*Юдакова Н.Д.*

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, РФ  
*pbs.tula@rambler.ru*

С целью оценки возможности применения акселерометров АТ 1105 для проектирования акселерометрической бесплатформенной инерциаль-

ной навигационной системы, проведено сравнение характеристик, заявленных заводом изготовителем и характеристик, полученных в ходе проведенных экспериментальных исследований нескольких образцов акселерометров AT 1105.

Акселерометр AT1105 изготовлен по микроэлектронной технологии, имеет кремниевый чувствительный элемент с емкостным преобразователем, имеет встроенную электронику для формирования, нормирования и усиления сигнала по мощности[1].

Для оценки точности акселерометра AT1105 проведены его испытания, целью которых было определение нулевых сигналов и коэффициентов передачи.

Для определения нулевых сигналов акселерометров была разработана методика проведения эксперимента, а так же испытательный стенд который представлен на рисунке.

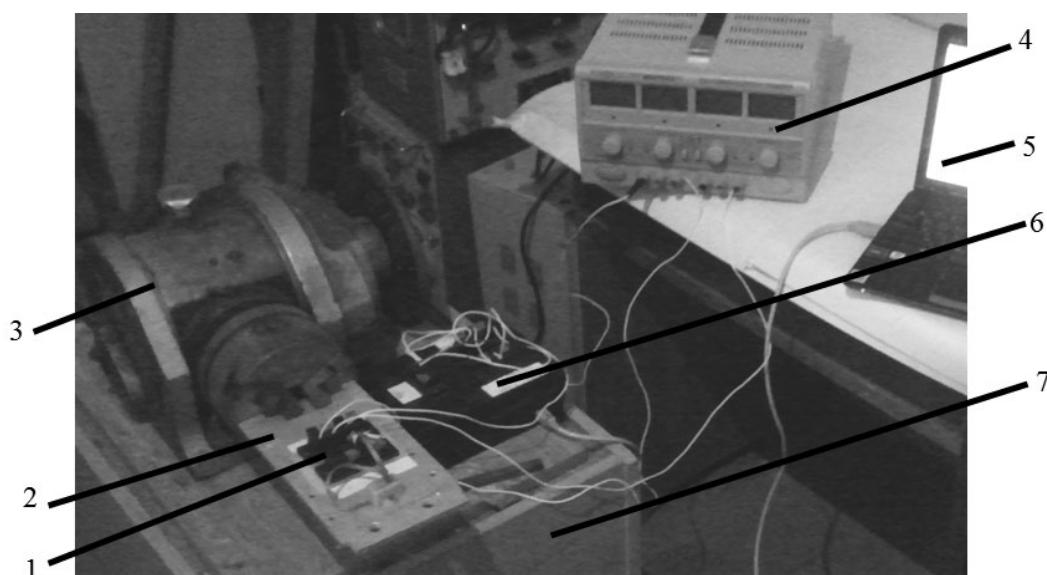


Рис. 1. Внешний вид испытательного стенда:  
1 – акселерометр; 2 – кронштейн; 3 – делительная головка;  
4 – блок питания; 5 – ноутбук; 6 – АЦП; 7 – виброизоляционная тумба

Экспериментальные данные показали, что нулевой сигнал постоянен и имеет некоторый шум на протяжении всего эксперимента. Этот шум можно обусловить помехами проводников, источника питания, устройства сбора информации и внутренней особенностью акселерометров.

После обработки полученных экспериментальных данных средствами Microsoft Excel, вычисления среднего значения и стандартного отклонения для каждого положения делительной головки, были получены зависимости математического ожидания и дисперсии. Из этих зависимостей был вычислен коэффициент передачи акселерометра который составил 0,0998354. Зависимости были практически линейны, это позволило их аппроксимировать прямой с коэффициентом нелинейности

0,9998. Анализ графика дисперсии шума показал, что шум тем больше чем больше действующее на акселерометр ускорение[2,3].

Коэффициент передачи заявленный заводом изготовителем равен  $0,1 \pm 0,005$  В [1].

В таблице приведены экспериментально полученные коэффициенты передачи акселерометров с серийными номерами №4122, №4120, №4107, №3807.

Таблица 1

Коэффициенты передачи акселерометров

№ акселерометра	Расчетный коэффициент передачи	Среднее значение нулевого сигнала
3870	0,0996369 В	0,03846 В
4107	0,0987248 В	0,01513 В
4120	0,0998354 В	0,01502 В
4122	0,0994216 В	0,00472 В

Таким образом, проведение оценки работы акселерометров серии АТ1105 с серийными номерами №4122, №4120, №4107, №3807 показало, что характеристики данных акселерометров имеют незначительные отклонения от характеристик, заявленных заводом изготовителем. В связи с этим можно сделать вывод, что эти акселерометры можно использовать для проектирования акселерометрической бесплатформенной инерциальной навигационной системы [4, 5].

### Список литературы

1. Официальный сайт ПАО АНПП «ТЕМП-АВИА». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.temp-avia.ru/index.php/katalog-produktsii> (дата обращения: 20.09.2019).
2. Богданов М.Б. Погрешности акселерометрической бесплатформенной инерциальной навигационной системы в условиях конического движения продольной оси летательного аппарата / М.Б.Богданов, А.В.Прохорцов, В.В.Савельев, В.А.Смирнов // XX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам: Сборник материалов. – СПб, 2013. – С. 47-49.
3. Богданов М.Б. Погрешности измерения угловой скорости с помощью акселерометров / М.Б.Богданов, В.В.Савельев, Н.Д.Юдакова // В сборнике: Материалы XXIX конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н.Острякова 2014. – С. 30-36.
4. Богданов М.Б. Инерциально-спутниковая система ориентации и навигации, построенная на основе акселерометрической БИНС / М.Б.Богданов, А.А.Галкин, А.В.Прохорцов и др. // В сборнике: XVIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам Сборник материалов. ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». – 2011. – С. 195-197.
5. Богданов М.Б. Способ уменьшения погрешностей бесплатформенной инерциальной навигационной системы / М.Б.Богданов, А.В.Прохорцов, В.В.Савельев и др. // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2009. – № 2 (60). – С. 31-34.

# *Прикладная экология*

УДК 623:681.7

## **ОПТИЧЕСКОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ**

*Базарский О.В.*, д-р физ.-мат. наук, профессор,

*Минаков Д.А.*, канд. физ.-мат. наук, доцент,

*Феклин В.Н.*, канд. физ.-мат. наук, доцент,

*Бирюкова И.П.*, канд. пед. наук, доцент, *Лукин Е.А.*

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ

*ipbir95@mail.ru*

При оптическом дистанционном зондировании Земли в условиях низкой освещенности получение качественных изображений сцены с помощью матричных фотокамер обеспечивается накоплением сигнала за счет большого времени экспозиции [1]. Но при движении летательного аппарата (ЛА) при большом времени экспозиции возникает «смаз» изображения. Поэтому при низкой освещенности сцены возникает противоречие между требуемой производительностью оптической системы дистанционного зондирования Земли (ОСДЗЗ), зависящей от скорости ЛА, и недостаточной чувствительностью существующих фотоприемников. Однако линейное разрешение таких матричных камер даже при малых отношениях сигнал/шум в условиях низкой освещенности порядка долей миллиметра. Такое разрешение является избыточным для большинства задач ОСДЗЗ.

Разрешение указанного противоречия возможно путем улучшения отношения сигнал/шум оптического поля, принимаемого приемником, при синтезировании изображения линейным сенсором за счет движения ЛА [2]. Платой за накопление сигнала является ухудшение избыточного разрешения до уровня, который обеспечивает требуемую вероятность распознавания объектов дистанционного зондирования.

В настоящее время теория оценки разрешающей способности ОСДЗЗ и методика синтезирования изображений в условиях низкой освещенности недостаточно разработаны. В связи с этим целью работы была разработка теоретических основ расчета разрешающей способности ОСДЗЗ, работающих при освещенности менее 0,1 лк.

Введем следующие параметры:

$\beta = \frac{E_2}{E_1}$  – энергетический параметр, определяемый отношением

освещенности соседних элементов разрешения сцены;

$r = \frac{x}{x_m}$  – коэффициент Рэлея, определяющий расстояние между центрами дифракционной картины, нормированный на минимальный информационно значимый размер элемента объекта  $x_m$ ;

$S_p = \frac{x_p}{x_m} \leq 1$  – структурный параметр, характеризующий

соотношение между рэлеевским разрешением объектива и элементом разрешения по объекту;

$M = \frac{x_m F}{\Delta \cdot h}$  – трансформационный параметр, где  $\Delta$  – линейный размер

пикселя приемника (матрицы),  $F$  – фокусное расстояние объектива,  $h$  – расстояние до объекта (высота полета ЛА). Здесь  $h/F$  – коэффициент трансформации размера объекта на матрице,  $x_m/\Delta$  – отношение разрешения по объекту  $x_m$  к размеру пикселя матрицы  $\Delta$ .

Исходя из требования к непрерывности изображения и представления дифракционно размытого источника в виде гауссовского, его изображение на матрице можно записать в виде

$$E(x) = Ee^{-\left(\frac{2x}{x_m}\right)^2} = Ee^{-\left(2S_p \frac{x}{x_p}\right)^2}.$$

Оценка разрешающей способности ОСДЗЗ основывается на проверке статистических гипотез о наличии или одного, или двух источников в принятом сигнале.

Используя решающую функцию в виде отношения правдоподобия на основе критерия идеального наблюдателя [5], можно получить вероятность принятия правильного решения по разрешению соседних элементов объекта ОСДЗЗ, работающей при низких уровнях освещенности

$$P_0 = \Phi \left[ \sqrt{\frac{\beta \left( \frac{x_m}{\Delta} \right) \left( \frac{h}{F} \right) e^{-\mu h}}{12}} Q(r, \beta) \right],$$

где  $\Phi$  – интеграл вероятности,  $e^{-\mu h}$  – ослабление сигнала в атмосфере,  $x_m/\Delta$  – нормированное значение элемента разрешения по объекту в направлении, перпендикулярном движению ЛА,  $h/F$  – нормированное значение элемента разрешения по объекту в направлении движения ЛА,  $h$  – высота полета ЛА,  $F$  – фокусное расстояние объектива фотокамеры,  $Q(r, \beta)$  – дифракционный фактор, определяющий дифракционные свойства объектива в зависимости от нормированного рэлеевского разрешения и контраста соседних отражающих элементов.

$$Q(r, \beta) = \left[ \frac{1 + 4\beta + \beta^2}{4} - \frac{21 + 48\beta + 21\beta^2}{8(\pi r)^2} + 3(1 + \beta)^2 \left( \frac{\sin(\pi r)}{(\pi r)^3} - \frac{\sin(2\pi r)}{2(2\pi r)^3} \right) \right]^{\frac{1}{2}}.$$

При синтезировании изображения линейным сенсором разрешение по направлениям вдоль движения и перпендикулярно движению должно быть одинаковым. Тогда  $v \cdot t_{on} = \Delta \cdot h / F$ , где  $v$  – скорость движения ЛА,  $t_{on}$  – время опроса строки линейки.

Допустимая высота полета ЛА  $h = \frac{v \cdot t_{on} F}{\Delta}$ . Из условия равенства разрешения по направлениям вдоль движения и перпендикулярно движению определена максимально возможная скорость ЛА при освещенности сцены  $E_0 = 0,06$  лк, контрасте  $k = 0,05$  и разрешении  $x_{m0} = 4,5$  мм  $v_0 = \frac{h\Delta}{t_{op} F} = \frac{x_{m0}}{t_{op}} = 20$  м/с. При меньших скоростях движения ЛА освещенность сцены определяется выражением  $E_{v \leq v_0} = \frac{E_0 x_{m0}}{x_m} = \frac{E_0 x_{m0}}{v t_{op}} = \frac{122,7}{v (cm/c)}$  (лк). Поле зрения ОСДЗЗ

$$L = \frac{n\Delta h}{F},$$

где  $n$  – число пикселей линейного сенсора.

Таким образом, при использовании одного линейного сенсора можно синтезировать изображения местности при освещенности до 0,06 лк, скорости движения ЛА до 20 м/с, высоте полета до 100 м с полем зрения до 10 м и разрешением 4,5 мм. Получение изображений местности при меньших освещенностих возможно за счет накопления сигнала матрицей  $n \times N$ , состоящей из  $N$  линейных сенсоров, или одного линейного сенсора с функцией TDI – функцией временной задержки и суммирования.

## Список литературы

1. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами / С.Г.Белов, В.С.Верба, В.А.Глаголев и др.; под ред. В.С.Вербы, Б.Г.Татарского – М.: Радиотехника, 2016. – 512 с.
2. Меньшаков Ю.К. Теоретические основы технических разведок / Ю.К. Меньшаков. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 537 с.
3. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И.Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПРИ ПЕРЕЛИВАХ ЧУГУНА

*Бодряга В.В., Белоусов В.В.*, д-р техн. наук, профессор,

*Недопекин Ф.В.*, д-р техн. наук, профессор,

*Бондаренко В.И.*, канд. техн. наук

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

*v.bdryaga@donnu.ru*

**Введение.** Проблема охраны окружающей среды является одной из самых актуальных проблем современности. Человеческая деятельность достигла сейчас таких масштабов, что может привести к необратимым последствиям. Металлургическое производство является одним из самых крупных загрязнителей воздушной среды. На долю предприятий черной металлургии приходится 10 % выбросов сернистого газа, около 40 % окиси углерода и 15 % выбросов пыли, из которых 30÷40 % составляют неорганизованные выбросы, т.е. выбросы, не прошедшие какую-либо систему отвода и очистки [1, 2].

Определение величины допустимых выбросов для конкретного предприятия осуществляется контролирующими органами, в значительной мере, произвольно, что создаёт почву для злоупотреблений. Также произвольным является требование о сооружении газоочистных сооружений. Нередко возникает ситуация, когда санитарные органы настаивают на сооружении дорогостоящей газоочистки для сравнительно мелких источников выбросов, не применяя санкций к крупным загрязнителям атмосферы.

**Цель** Определение критерия экологической целесообразности применения очистки от вредных выбросов.

**Основная часть.** В качестве критерия целесообразности применения газоочистки предлагается использовать соотношение между уловленными выбросами и выбросами, связанными с самим процессом улавливания, поскольку производство энергии и материалов, необходимых для очистки, также сопровождается выбросами вредных веществ в атмосферу. Очевидно, применение газоочистки целесообразно только в том случае, когда количество уловленных вредных веществ превышает количество выбросов в атмосферу при производстве энергии и материалов, затраченных в процессе газоочистки.

Поскольку очистка выбросов производится обычно только от одного компонента, а при производстве энергии и материалов происходят выбросы других веществ, то эти выбросы следует оценивать в сопоставимом виде, в «единицах ПДК», используя коэффициенты относительной опасности [3].

Для этого массу выброса вредного вещества следует поделить на величину  $\text{ПДК}$  для данного вещества. Полученная величина будет выражена в «единицах  $\text{ПДК}$ », которая по физическому смыслу представляет собой количество воздуха ( $\text{м}^3$ ), необходимое для разбавления данной массы вредного вещества до предельно допустимой концентрации.

Тогда условие экологической целесообразности применения газоочистки будет иметь вид

$$M_{np} < zQ\alpha\eta A, \quad (1)$$

где  $M_{np}$  – приведенная мощность выбросов при производстве энергии и материалов, затраченных на очистку, ед.  $\text{ПДК}/\text{с}$ . Приведенная мощность выбросов вычисляется путём деления мощности выброса ( $\text{мг}/\text{с}$ ) на величину  $\text{ПДК}$  и по физическому смыслу представляет собой расход воздуха ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), необходимого для разбавления данного количества вещества до  $\text{ПДК}$ ;  $A = \frac{1}{\text{ПДК}_{cc}}$  – коэффициент относительной опасности вещества, от которого производится очистка, ( $\text{м}^3/\text{мг}$ );  $Q$  – объёмный расход очищаемого газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\eta$  – степень очистки газа;  $\alpha$  – относительная доля времени улавливания выбросов в общем времени работы газоочистки.

Для непрерывных процессов, сопровождающихся выбросами,  $\alpha = 1$ , а для периодических процессов, когда аспирационные системы не выключаются при отсутствии выброса,  $\alpha < 1$ . Если выброс отсутствует, то  $\alpha = 0$  и формула (1) теряет физический смысл.

Очевидно, если условие (1) не соблюдается, то выбросы при производстве энергии и материалов превышают улавливаемые выбросы и, следовательно, применение газоочистки не целесообразно. Определим минимальную концентрацию вредного вещества в выбросах, при которой очистка целесообразна.

Из (1) следует, что минимальная концентрация загрязняющего вещества  $Z_{\min}$ , при которой очистка газа целесообразна, составит

$$Z_{\min} = \frac{M_{np}}{Q \cdot \alpha \cdot \eta \cdot A}. \quad (2)$$

Приведенная мощность выбросов рассчитывается по формуле

$$M_{np} = \sum (M_i \cdot A_i) \cdot 10^3, \quad (3)$$

где  $M_i$  – мощность выброса  $i$ -го вещества,  $\text{г}/\text{с}$ ;  $A_i = 1/\text{ПДК}_i$  – коэффициент относительной опасности  $i$ -го вещества,  $\text{м}^3/\text{мг}$ .

Приведенную мощность выбросов удобно выразить через удельные величины расходов энергии и материалов на  $1000 \text{ м}^3$  очищаемого газа

$$M_{np} = \sum A_i (m_i^3 y^3 + m_i^m + y m^m) \cdot Q, \text{ ед. ПДК}/\text{с}, \quad (4)$$

где – удельные выбросы на единицу энергии и материалов, соответственно,  $\text{г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  и  $\text{г}/\text{т}$  материала;  $y^3$  и  $y^m$  – удельные расходы

энергии и материалов, соответственно,  $\text{kVt}/\text{ч} \cdot 1000 \text{ м}^3$  и  $\text{т}/1000\text{м}^3$  очищаемого газа. Подставляя выражения (4) и (3) в (2) получим

$$Z_{\min} = \frac{\gamma^3 \sum (m_i^3 \cdot A_i) + \gamma^m \sum (m_i + A_i)}{A \cdot \alpha \cdot \eta} \cdot \frac{m\sigma}{m^3}. \quad (5)$$

Критерием экологической целесообразности применения того или иного метода очистки будет соотношение между минимальной и фактической концентрацией вредного вещества в потоке выбросов

$$K = \frac{Z_\phi}{Z_{\min}}, \quad (6)$$

где  $K$  – критерий целесообразности очистки;  $Z_\phi$  – фактическая концентрация вредного вещества,  $\text{мг}/\text{м}^3$ . При  $K > 1$  очистка с экологической точки зрения целесообразна, при  $K < 1$  применение данного типа газоочистки принесёт, в конечном счёте, только вред окружающей среде.

**Заключение.** Предложена методика оценки экологической целесообразности мероприятий по охране атмосферы на основе расчёта специального критерия. Этот критерий  $K$  представляет собой отношение фактической концентрации вредного вещества в выбросах к минимальной концентрации, при которой этого вредного вещества улавливается больше, чем, с учётом токсичности, выделяется при производстве энергии и материалов, необходимых для осуществления очистки. Очистка выбросов с более низкой концентрацией нецелесообразна.

Во избежание нанесения ущерба окружающей среде необходимо использовать разработанную методику для оценки экологической целесообразности газоочистных мероприятий в различных отраслях народного хозяйства.

## Список литературы

1. Канвальд Г. Мероприятия по уменьшению выделения пыли при выпуске чугуна. / Г.Канвальд. – Чёрные металлы, 1984 – № 6-7 – С. 73-78.
2. Недопекин Ф.В. Проблема повышения экологической безопасности при переливах чугуна / Ф.В.Недопекин, В.В.Белоусов, В.А.Кравец, В.В.Боряга // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2013. – №2 (15). – С. 276-283
3. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей среды. – Министерство охраны окружающей среды Российской Федерации. – М., 1995. – 34 с.

## ПОДАВЛЕНИЕ БУРОГО ДЫМА ПРИ ПЕРЕЛИВАХ ЧУГУНА АЗОТНО-ВОДНЫМ АЭРОЗОЛЕМ

**Бодряга В.В., Белоусов В.В.**, д-р техн. наук, профессор,

**Недопекин Ф.В.**, д-р техн. наук, профессор,

**Бондаренко В.И.**, канд. техн. наук

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

*v.bodryaga@donnu.ru*

**Введение.** Для борьбы с выбросами применяются системы отвода запыленных газов с их последующей очисткой. Очистка отведенного потока газов от пыли осуществляется на большинстве заводов одноступенчато в циклонах ЦН-15, которые на 99% улавливают графитную пыль, а бурый дым – основной компонент выбросов, – ими практически не улавливается и выбрасывается в атмосферу [1]. Для улавливания бурого дыма требуется вторая ступень газоочистки, в качестве которой используются электрофильтры или тканевые рукавные фильтры. Эти аппараты дорогостоящи, громоздки, сложны и ненадежны в эксплуатации.

Непосредственной причиной образования бурого дыма является взаимодействие мелких капель чугуна с кислородом газовой фазы. Эффективным инструментом подавления бурого дыма является технология с применением нейтрального газа [2].

Кислородные цеха большинства металлургических заводов оборудованы маломощными компрессорами, обеспечивающими расход азота до  $5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что соответствует 20-25 % азота, вырабатываемого блоками разделения воздуха. В связи с этим, представляют практический интерес исследования процесса образования бурого дыма и разработка технологических приёмов снижения его выбросов.

**Цель** Определение теоретического коэффициента пылеподавления азотно-водным аэрозолем при различных конструктивных параметрах.

**Основная часть.** Снижения выбросов бурого дыма при переливах чугуна можно достичь, уменьшая концентрацию кислорода в газовой фазе. Этого, в свою очередь, можно достичь, например, подачей в зону дымообразования нейтрального газа. При этом возможны различные технические решения поставленной задачи. Например, можно варьировать расходом нейтрального газа, подавать его одной или несколькими струями, через сопла различного диаметра, расположенные различным образом и т.д. Оценим влияние различных конструктивных и режимных параметров на процесс пылеподавления, и результаты, которых можно достичь, управляя этими параметрами.

Рассчитаем расход нейтрального газа, необходимый для создания в зоне пылеобразования атмосферы с заданным содержанием кислорода.

Подставив (2.29) в (2.17) получим

$$\varepsilon = 1 - \left( 0,67 \frac{w^2}{w_{kp}^2} - 1,33 \frac{w}{w_{kp}} + 1 \right) \frac{\exp \left( 21,655 - \frac{4,45 \cdot 10^4}{1353 + 33,42 \cdot O_{ob}} \right)}{\sqrt{0,658 + 0,0163 \cdot O_{ob}}}. \quad (1)$$

Воздух, необходимый для образования бурого дыма, поступает в зону диспергирования металла преимущественно в результате процесса эжекции струёй чугуна. Подаваемый на струю металла нейтральный газ снижает концентрацию кислорода в объёме ковша и одновременно уменьшает количество поступающего в ковш воздуха. Предполагаем, что подаваемый на струю нейтральный газ замещает собой эжектируемый воздух. Считая, что весь нейтральный газ поступает в объём ковша, можно связать расход нейтрального газа с концентрацией кислорода в газовой фазе (выражение имеет смысл при  $Q \leq V$ )

$$O_{ob} = ((V - Q)/V)21 = (1 - (V - Q)/V)21, \quad (2)$$

где  $Q$  – расход нейтрального газа,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $V$  – расход воздуха, поступающего в ковш,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Подставляя полученное выражение (2) в (1) после преобразований получим

$$\varepsilon = 1 - \left( 0,67 \frac{w^2}{w_{kp}^2} - 1,33 \frac{w}{w_{kp}} + 1 \right) \frac{\exp \left( 21,655 - \frac{1}{(0,04618 - 0,016 \cdot Q/V)} \right)}{\sqrt{1 - 0,347 \cdot Q/V}}. \quad (3)$$

Таким образом, получено выражение, связывающее параметры подачи нейтрального газа (расход и скорость) с эффективностью пылеподавления.

Струи нейтрального газа могут приводить к дополнительному диспергированию металла. Интенсивность этого процесса зависит от скорости струи газа, которая в месте контакта с поверхностью чугуна должна превысить критическую скорость.

Из известной зависимости скорости турбулентной струи, истекающей из цилиндрического сопла, от расстояния от сопла и скорости истечения [3], получим

$$w = 0,61Q/n(0,085 \cdot S_c d_c + 0,14 \cdot d_c^2), \quad (4)$$

где  $S_c$  – расстояние от сопла до поверхности взаимодействия,  $\text{м}$ ;  $d_c$  – диаметр сопла,  $\text{м}$ ;  $Q$  – расход нейтрального газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $n$  – число сопел, шт.

Тогда, подставив (4) в (3) получим:

$$\frac{S}{S_0} = \frac{0,25Q^2}{w_{kp}^2 \cdot n^2 (0,85S_c d_c + 0,14d_c^2)^2} - \frac{0,81Q}{w_{kp} \cdot n (0,85S_c d_c + 0,14d_c^2)} + 1. \quad (5)$$

Полученная формула (3) с учетом (5) выражает связь между степенью пылеподавления и технологическими параметрами: расходом нейтрального газа, числом сопел, их диаметром и расстоянием до поверхности металла.

Предположим, что в струю азота введено некоторое количество мелких водяных брызг. Образовавшийся аэрозоль будет подаваться в зону пылеобразования к поверхности жидкого чугуна, где капли воды, испаряясь, резко увеличиваются в объёме. В этом случае подача воды в виде аэрозоля равносильна увеличению количества нейтрального газа. Жидкость при испарении увеличивается в объёме

$$\frac{V_n}{V_{ж}} = 22,4 \cdot \frac{\rho_{ж}}{\mu} \frac{T}{273}, \quad (6)$$

где  $V_n$  и  $V_{ж}$  – расход пара и жидкости, соответственно,  $m^3/c$ ;  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости,  $kg/m^3$ ;  $\mu$  – молекулярная масса,  $kg/кмоль$ ;  $T$  – температура нагрева паров,  $K$ ; 22,4 – объём одного кмоля газа,  $m^3/кмоль$ .

Подставляя численные значения для воды:  $\rho_{ж} = 1000 \text{ кг}/m^3$ ;  $\mu = 18$ ;  $T = 473 K$ , получим  $V_n = 2150 \cdot V_{ж}$ .

Подставив полученную величину в (3) получим коэффициент пылеподавления, для случая применения азотно-водного аэрозоля, (когда вода распыляется струёй азота и ею же транспортируется в зону пылеподавления)

$$\varepsilon = 1 - \frac{S}{S_0} \frac{\exp \left( 21,655 - \frac{1}{0,04618 - 0,015 \cdot (Q + 2150V_{ж})/V} \right)}{\sqrt{1 - 0,34 \cdot (Q + 2150V_{ж})/V}}. \quad (7)$$

Как следует из выражения (7) добавление в струю азота распылённой воды должно повышать степень пылеподавления.

**Заключение.** Получена зависимость степени пылеподавления в зависимости от параметров подачи нейтрального газа и азотно-водного аэрозоля. Применение азотно-водного аэрозоля позволяет достичь необходимой степени пылеподавления в условиях недостаточного производства азота.

### Список литературы

1. Канвальд Г. Мероприятия по уменьшению выделения пыли при выпуске чугуна. / Канвальд Г. – Чёрные металлы, 1984 – № 6-7 – С. 73-78.
2. Недопекин Ф.В. Проблема повышения экологической безопасности при переливах чугуна / Ф.В.Недопекин, В.В.Белоусов, В.А.Кравец, В.В.Бодряга // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. –2013. – №2 (15). – С. 276-283
3. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С.Кутателадзе, М.А.Стырикович. – М.: Энергия, 1976. – 296 с.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ

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

*Иванушкин М.К., Ложкин Н.П.*

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

Пьезоэлектрический эффект (ПЭЭ) – это эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений [1]. Существует прямой и обратный ПЭЭ. При прямом ПЭЭ деформация пьезоэлектрического образца приводит к возникновению электрического напряжения между поверхностями деформируемого твёрдого тела, а при обратном ПЭЭ – приложение напряжения к телу вызывает его деформацию [1].

Пьезоэлектрические вещества всегда обладают одновременно и прямым, и обратным ПЭЭ. Необходимо, чтобы вещество было монокристаллом, ПЭЭ наблюдается и в поликристаллических веществах, предварительно поляризованных сильным электрическим полем во время кристаллизации, или при фазовом переходе в точке температуры Кюри при охлаждении для сегнетоэлектриков (например, керамические пьезоэлектрические материалы на основе цирконат – титаната свинца) при наложенном внешнем электрическом поле [1].

Исследования ПЭЭ показали, что он объясняется свойством элементарной ячейки структуры материала. Так как элементарная ячейка является наименьшей симметричной единицей материала, путём её многократного повторения можно получить микроскопический кристалл. Необходимым условием для существования ПЭЭ является отсутствие центра симметрии в элементарной ячейке.

В настоящее время прямой ПЭЭ в технике используется:

1. В датчиках – в качестве чувствительного к силе элемента (чем больше сила, тем выше напряжение на контактах), например, в силоизмерительных датчиках и датчиках давления жидкостей и газов

2. В контактном пьезоэлектрическом взрывателе (например, к выстрелам РПГ – 7)

3. В качестве чувствительного элемента в микрофонах, головках звукоснимателя электрофонов, гидрофонах, приёмных элементов сонаров

4. В пьезозажигалках, для получения высокого напряжения на разряднике от движения пальца

5. В пьезогенераторах электроэнергии разного назначения.

Автомобильные дороги во время своей эксплуатации вырабатывают энергию от вибрации, трения колёс о дорожное покрытие, которая

рассеивается в окружающую среду. Однако эту энергию можно собирать и использовать в быту и на производстве.

Пьезоэлектрические устройства могут «собирать» энергию колебаний «дорожного движения» с помощью пьезокристаллов, вмонтированных в асфальтовое покрытие.

Пьезокристалл деформируется при проезде по дороге машины, превращая энергию давления проезжающего транспорта в электроэнергию.

Пьезогенераторы работают по следующему принципу: они создают электрическую поляризацию под действием механических напряжений и деформаций растяжения, сжатия или кручения. В результате этих деформаций на металлических электродах, расположенных на поверхности пьезоэлемента, появляются электрические заряды противоположных знаков, которые обуславливают появление разности потенциалов, порождающей электрический ток.

Такая технология выработки электроэнергии сейчас проходит апробацию на дорогах Калифорнии в США, Японии и Израиля [2, 3], чтобы показать свою экономическую эффективность, а также отработать технологию производства такого дорожного покрытия.

Каждый пьезоэлектрический генератор имеет линейные размеры 2,5 см и размещён под верхним тонким слоем асфальта. Они устанавливаются на определённом расстоянии друг от друга.

Планируется, что такая дорога может вырабатывать энергию в количестве, которого будет хватать не только для освещения дороги и бесперебойной работы дорожных электроустройств (светофоры, шлагбаумы и пр.), но и для обеспечения электроэнергией близлежащих зданий (магазины, заправки и пр.).

Выработка электроэнергии зависит от дорожного трафика и грузоподъёмности транспорта – чем интенсивнее движение и тяжелее машины, тем больше электроэнергии могут вырабатывать пьезогенераторы, вмонтированные в асфальт.

В экспериментах [4] было установлено, что проезд по такой пьезодороге длиной один километр шестисот автомобилей в час производит примерно 400 киловатт – часов электричества.

В качестве пьезоэлектрических генераторов сейчас широко используются свинцовая пьезокерамика, или цирконат – титанат свинца, ЦТС  $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$  и поливинилиденфторид ПВДФ, или фторопласт – 2,  $-(C_2H_2F_2)_n$  [5].

Для характеристики ПЭЭ используют пьезоэлектрический коэффициент  $d$ . Дорожное покрытие из пьезоэлементов должно иметь максимально высокие значения  $d$  для наибольшего эффекта. При строительстве пьезодорог важное значение имеют продольный  $d_{33}$  и поперечный  $d_{31}$  пьезокоэффициенты. Коэффициент  $d_{33}$  задействуется при накоплении зарядов на электродах, если приложенная сила направлена

вдоль вектора поляризации; коэффициент  $d_{31}$  – если сила направлена перпендикулярно к оси поляризации. Также немаловажное значение при накоплении заряда на электродах пьезоэлементов при проектировании дорог имеет коэффициент  $d_{15}$  – при деформациях сдвига.

К основным недостаткам конструкции такого дорожного покрытия можно отнести дороговизну керамических пьезоматериалов и их высокую токсичность.

Пьезоэлектрическое покрытие дорог является перспективным направлением для развития энергосберегающих технологий. Кроме автотрасс, пьезогенераторы при строительстве могут использоваться для взлётно-посадочных полос, а также в качестве прокладок между рельсами и шпалами трамвайных и железнодорожных путей.

### **Список литературы**

1. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – М.: Академия, 2012. – 544 с.
2. Новое покрытие для пола заряжается энергией шагов [Электронный ресурс]. URL: <http://hi-news.ru/technology> (дата обращения: 02.08.2019).
3. Пьезоэлектрическая дорога – новый способ получения электроэнергии [Электронный ресурс]. URL: <http://enki.ua> (дата обращения: 02.08.2019).
4. Практическое применение пьезоэффекта для утилизации энергии [Электронный ресурс]. URL: <http://habr.com> (дата обращения: 02.08.2019).
5. Автомобильные пробки будут вырабатывать электроэнергию [Электронный ресурс]. URL: <http://pravda.ru/eureka/inventions> (дата обращения: 02.08.2019).

УДК 547.992:631.811.98

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОАКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭРОДИРОВАННЫХ С/Х ЗЕМЕЛЬ И ИХ ПЛОДОРОДИЯ**

**Зубкова Ю.Н.**, канд. хим. наук, доцент, **Бутюгин А.В.**  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*juliazubkova2006@yandex.ua*

Цель: восстановление эродированных с/х земель, поддержание и повышение их плодородия; создание устойчивых агролесных комплексов, способствующих улучшению климатических (микроклиматических) условий, получение с/х продукции и древесной продукции.

Достижение цели: предлагается ускоренное восстановление эродированных земель путем залужения и облесения с использование гумусосодержащего бурого землистого угля и продуктов его переработки (стимулятора-адаптогена растений и органоминеральных удобрений), а

также с использованием современных материалов способствующих накоплению и удержанию влаги (осадков) в почве; создание агролесных комплексов нового типа с лесополосами интенсивного пользования, продукция которых может быть использована в качестве лесохимического сырья для получения высококачественной бумаги и/или в качестве экологического сырья для тепло-электроэнергетики.

**Обоснование.** Эрозия почв – это глобальный процесс вырождения плодородных почв. В процессе эрозии, вызываемой природными и техногенными факторами, почва теряет органическое вещество, которое обеспечивает плодородие почвы, а также влагозадерживающие и влагоемкостные свойства почвы. Имеется определенная взаимосвязь между содержанием органики в почве и количеством выпадающих осадков.

Известен способ борьбы с эрозией и восстановления плодородия эродированных земель путем выведения их из активного пользования с последующим залужением и облесением. Этот способ активно используют высокоразвитые страны. Срок восстановления эродированных земель – 10 лет.

Бурые землистые угли с высоким содержанием (50-70 %) гумусовых веществ являются природными источниками гумуса, необходимого почве. Традиционного органического удобрения – навоза – не хватает даже для нормальных с/х почв. Мировая практика уже имеет опыт использования бурого угля в качестве нетрадиционного органического удобрения. Бурый уголь повысит содержание органического вещества в почве, улучшит физико-химические свойства почвы, будет способствовать удержанию и накоплению влаги. Гуминовые вещества бурого землистого угля, выделенные из него в виде водорастворимых солей – это высокоэффективные стимуляторы-адаптогены растений. Особо важным свойством буроугольных гуматов является влияние на корнеобразование. При применении гуматов корневая система увеличивается на 30-50%. Как известно, корневые остатки многолетних трав – это один из факторов улучшения свойств почвы и ее плодородия. Гуминовые стимуляторы активно влияют и на надземную часть растений, ускоряют рост деревьев, увеличивают площадь листовой поверхности. Таким образом, применение бурого угля и продуктов его переработки будет способствовать ускоренному восстановлению эродированных земель. Срок восстановления может быть сокращен минимум до 8 лет. При этом уже с 3 года залужения может быть налажено производство сочных кормов, сена. Применение современных неорганических и полимерных материалов, способствующих влагоудержанию и влагонакоплению.

Создание агролесных комплексов нового типа с лесополосами плантационного типа, состоящих из быстрорастущих видов деревьев, позволит при использовании стимуляторов получать лесную продукцию с 3-5 года эксплуатации. Лесополосы быстрорастущих деревьев – «углеродные» леса – позволят активно решать проблему утилизации

углекислого газа. Продукция лесополос может иметь различное применение: производство бумаги новыми (бессульфатными) способами, получение лесохимической продукции, производство тепла и электричества как это делается в Германии, Великобритании, Швеции, Новой Зеландии.

Быстрорастущие лесополосы будут одновременно играть роль так называемых «углеродных» лесов, которые активно связывают углекислый газ. Тем самым будет попутно решаться проблема уменьшения концентрации парникового газа в атмосфере.

**Технико-экономические показатели.** Будет создан базовый экологически устойчивый агролесной комплекс общей площадью 57 200 га, состоящий из 50000 га полей и 5400 га лесополос плантационного типа.

Ориентировочные суммарные затраты на базовый комплекс (50000 га полей и 5400 га лесополос) на 20 лет – 60 млн. долларов (один из вариантов, учитывающий текущую способность осваивать средства; и без учета затрат на перерабатывающий комплекс – производство бумаги).

Таблица 1

Ориентировочные затраты по годам, млн. долларов										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-20
2,7	5,5	8,3	11,2	14,0	14,2	0,7	0,4	0,1	0,1	2,8

Через 3 года получаем сочные корма для животноводства: порядка 5 т сочных кормов с 1 га. В течение 6 лет после этого (до начала интенсивной с/х эксплуатации комплекса) получим не менее 875 000 т сочных кормов. При цене 17 долларов за 1 т корма можно получить порядка 13,6 млн. долларов.

Лесополосы обеспечат снижение ветровой нагрузки на 40 %; повысят воздушную и почвенную влажность, улучшат гидрологические условия уменьшат содержание углекислого газа.

Урожайность основных с/х культур на восстановленных почвах в агролесном комплексе будет не ниже:

- 40 ц/га для зерновых культур;
- 75 ц/га для кукурузы;
- 30 ц/га для подсолнечника.

С 10 года получаем древесину. С учетом отходов ориентировочно за 10 лет будет получено 1 080 000 м<sup>3</sup> сырой древесины или 4 320 00 т сухой древесины, из которой можно получить не менее 100 000 т высококачественной бумаги. Даже при цене 2 доллара за 1 кг бумаги получаем порядка 200 млн. долларов.

С 10–11 года можно:

1) начать продажу восстановленных почв по цене не менее 5000 долларов за 1 га (уже за три года от продажи можно получить порядка 90 млн. долларов – проект окуплен и начинает приносить прибыль);

2) собственную эксплуатацию полей с получением соответствующей с/х продукции.

Таблица 2

Ориентировочные доходы от эксплуатации, млн. долларов по годам								
4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-10	11-20
0,425 от сочных кормов	1,06 от сочных кормов	1,9 от сочных кормов	3,0 от сочных кормов	4,25 от сочных кормов	4,25 от сочных кормов	4,25 от сочных кормов	250 от продажи восстановлен ной почвы	200 от продажи бумаги

При подсчете количества углекислого газа, которое утилизируют данные лесополосы за 10 лет, можно рассчитать квоту на выбросы тепличного газа и ее стоимость.

УДК 504.06

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОМОНИТОРИНГА МАСШТАБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ АВИАЦИОННО-РАКЕТНОГО КЛАСТЕРА, г. ВОРОНЕЖ)

*Кочетова Ж.Ю.<sup>1</sup>*, канд. хим. наук, доцент,

*Базарский О.В.<sup>1</sup>*, д-р физ.-мат. наук, профессор,

*Кучменко Т.А.<sup>2</sup>*, д-р хим. наук, проф., профессор,

*Маслова Н.В.<sup>3</sup>*, канд. хим. наук

<sup>1</sup>ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора

Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,  
г. Воронеж, РФ

<sup>3</sup>Федеральное медико-биологическое агентство России, г. Воронеж, РФ

*zk\_vva@mail.ru*

**Введение.** Проблемы геоэкологического мониторинга масштабных территорий, попадающих под разнообразное техногенное воздействие, в том числе от объектов авиационной и космической деятельности, заключаются в несовершенстве методологической базы: морально устарели методики лабораторных исследований, измерительное оборудование не экономично и не эффективно, устройства для измерений «на месте» характеризуются низкими селективностью и чувствительностью, а дистанционные средства контроля загрязнения территорий дороги и мало информативны.

Существующие решения геоэкологического мониторинга масштабных территорий носят фрагментарный характер. Они заключаются в определении концентраций основных загрязнителей в отдельных точках объектов окружающей среды, где предполагается повышенный уровень их содержания. Такой подход дает информацию только о динамике

происходящих экологических процессов в локальных точках, необходимую для начисления штрафных санкций, и не позволяет оценивать и прогнозировать изменение экологического состояния территории в целом.

**Цель** – разработать новые теоретические и практические рекомендации для организации геоэкологического мониторинга масштабных территорий (на примере авиационно-ракетного кластера), которые позволят повысить разрешение и точность оценки экологического состояния территории при одновременном снижении затрат на проводимые исследования.

**Основная часть.** Для решения проблем геомониторинга масштабных территорий целесообразно объединять объекты деятельности в кластеры по идентичности их структуры, идентичности выполняемых функций и, соответственно, идентичности приоритетных загрязнителей с последующей выработкой единой схемы организации геоэкологического мониторинга, отличающейся от стандартной точностью и экономичностью. Так, в г. Воронеж для проведения геомониторинга были объединены в авиационно-ракетный кластер (АРК) территориально связанные аэродром государственной авиации «Балтимор», акционерное общество Конструкторское бюро «Химавтоматика» (АО КБХА), промышленные комплексы их обслуживающие (автремонтные, транспортные, металлургического производства и др.), а также прилегающие рекреационная и селитебная зоны. На основании литературных данных и результатов проведенного 11-летнего геомониторинга территории АРК общей площадью 176 км<sup>2</sup> к специфическим загрязнителям депонирующих сред предложено отнести керосин и формальдегид, к неспецифическим показателям – pH грунта, вод, снегового покрова, содержание в них тяжелых металлов, нитритов, нитратов. При этом были учтены географические, климатические и физико-химические особенности расположения исследуемого АРК [1].

На втором этапе разработки схемы организации геомониторинга выделенного кластера необходимо установить аналит-маркер загрязнения депонирующих сред. На основании корреляционного анализа данных многолетнего (не менее 10 лет) геомониторинга АРК в качестве аналит-маркера выбран специфический загрязнитель грунтов – керосин. Содержание керосина в грунтах имеет высокую или среднюю положительную тесноту связи с нитратным азотом, формальдегидом, суммарным содержанием металлов; с повышением концентрации керосина в грунтах их pH закономерно снижается. В урбанизированных гумусом грунтах и при высоком содержании керосина (выше ПДК = 100 мг/кг) корреляционные зависимости выражены сильнее.

Для экспресс-определения аналит-маркера загрязнения грунтов «на месте» (без пробоотбора и пробоподготовки) был разработан оригинальный пьезосенсорный датчик, отличающийся от существующих концентратомеров нефтепродуктов мобильностью, энерго- и ресурсоэкономичностью, точностью измерений, широким интервалом рабочих температур и концентраций [2].

Для повышения точности экологической оценки территории АРК и одновременном снижении стоимости мониторинга предварительно строят цифровую карту загрязнения грунтов аналитом-маркером, который определяют в полевых условиях разработанным экспресс-способом в каждом выделенном пикселе карты. Площадь пикселя выбирается исходя из общей площади АРК и руководящих документов [3]. Формируются связанные области пикселей с повышенным содержанием керосина. Не связанные пиксели из дальнейшего рассмотрения исключаются. Сформированные участки с повышенным содержанием соединения-маркера должны содержать не менее  $(3 \times 3) = 9$  пикс.<sup>2</sup> для достоверного оконтуривания связанных областей. Если область по результатам тест-определения керосина содержит больше 9 пикс.<sup>2</sup>, то можно объединять соседние пиксели в целях уменьшения экономических затрат на лабораторные исследования. В каждой выделенной связанной области, в которой содержание керосина превышает ПДК и существует высокая вероятность загрязнения грунтов токсичным формальдегидом, тяжелыми метллами, нитратным азотом производят лабораторные исследования содержания приоритетных загрязнителей.

В ранее опубликованной авторами работе была доказана необходимость применения уточненного суммарного показателя загрязнения грунтов для точной оценки геоэкологического состояния урбанизированных территорий, испытывающих высокую и разнообразную по опасности химических загрязнителей техногенную нагрузку. Разработана методика расчета комплексного показателя геоэкологической ситуации кластера с учетом уточненного суммарного показателя загрязнения почвогрунтов, рассчитанного относительно фоновых концентраций приоритетных загрязнителей и их токсичности [4].

**Заключение.** Таким образом, по тест-определению содержания соединения-маркера в контролируемых точках равномерной сетки пробоотбора с последующим построением цифровой карты загрязнения грунтов возможно в течение короткого времени и с малыми экономическими затратами прогнозировать экологически опасные участки на масштабных территориях. Полученные закономерности распределения приоритетных загрязнителей в объектах окружающей среды, разработанные методики комплексной оценки геоэкологической ситуации, экспресс-определения анализа-маркера загрязнения грунтов на территориях кластеров могут быть положены в основу организации геомониторинга масштабных территорий, включающих отдельные промышленные объекты или идентичные, которые объединяются в кластеры, а также прилегающие к ним рекреационные и селитебные зоны.

## Список литературы

1. Kochetova Z. Ecological Problems of the Aviation-Missile Cluster and Optimization of Geomonitoring Using a Piezo Sensor / Z.Kochetova, O.Bazarsky, T.Kuchmenko, N.Maslova // Ecology and Industry of Russia. – 2018. – Vol. 22(8). – P. 32–38.

2. Kotchetova Zh.Yu. Rapid assessment of soil pollution with kerosene using a carbon-nanotube-based piezosensor / Zh.Yu. Kotchetova, O.V. Bazarsky, T.A. Kuchmenko // Moscow University Chemistry Bulletin. – 2017. – Vol. 72. – No 1. – P. 63– 68.
3. ГОСТ Р 53123-2008 Качество почвы. Отбор проб. – М.: Стандартинформ, 2009.
4. Кочетова Ж.Ю. Сравнительный анализ интегральных показателей загрязнения почвогрунтов урбанизированных территорий приоритетными контаминалами / Ж.Ю.Кочетова, О.В. Базарский, Н.В. Маслова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 1 (125). – С. 28–37.

УДК 504.3.054

## **РАСЧЕТ И ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИАЭРОДРОМНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ТОПЛИВОМ ПРИ РАБОТЕ ДВИГАТЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ В ФОРСАЖНОМ РЕЖИМЕ**

*Лазарев И.С., Кочетова Ж.Ю.,* канд. хим. наук, доцент,

*Базарский О.В.,* д-р физ.-мат. наук, профессор,

*Бакланов И.О.,* д-р пед. наук, доцент

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора

Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ

*zk\_yva@mail.ru*

**Введение.** Ранее разработанная авторами математическая модель образования и рассеяния капель керосина в атмосфере и поверхностного загрязнения грунтов аэродромов государственной авиации и прилегающих к ним территорий подробно представлена в статье [1]. В данной работе математическая модель применена для прогнозирования загрязнения приаэродромных территорий аэродромов «Балтимор» и «Энгельс-2».

**Цель** – верификация развитой модели при исследовании влияния выбросов самолетов СУ-27 в форсажном режиме работы их двигателей (при взлете и посадке) на загрязнение грунтов приаэродромных территорий.

**Основная часть.** Согласно нормативным документам, суммарные выбросы несгоревших углеводородов от двух двигателей в форсажном режиме при взлете самолета и его посадке на малом газу составляют  $M \approx 1$  кг. Оценочное распределение выбросов керосина по градациям в зависимости от радиуса капель керосина  $R$  приведено в таблице 1.

Общая масса керосина в каждой градации определяется по формуле:  $m_{\Sigma i} = m_i \cdot T \cdot N$ , где  $N$  – число самолетовылетов в год;  $T$  – время эксплуатации аэродрома, годы. Так как высота самолета над аэродромом непрерывно изменяется, то целесообразно оценить загрязнения грунтов топливом для мелко-, средне- и крупнодисперсных капель.

Для мелкодисперсных капель керосина площадь загрязнения равна  $S_1 \cdot L$ , где  $S_1 = (2313 - 90) = 2223$  м – дальность осаждения мелкодисперсных капель от края взлетно-посадочной полосы (ВПП),  $L = 2$  км – длина

приаэродромной территории между ближними приводами вдоль полосы. Эта площадь составляет  $4446 \cdot 10^3 \text{ м}^2$ . Для  $N=3000$  и  $T=50$  лет масса сконденсированных мелкодисперсных капель равна  $15 \cdot 10^3 \text{ кг}$ . Масса поверхностного слоя грунта с толщиной 0,2 м и плотностью  $1200 \text{ кг/м}^3$  равна  $1067 \cdot 10^6 \text{ кг}$ . Тогда средняя концентрация керосина в грунтах, обусловленная разлетом мелкодисперсных капель, составляет  $13,8 \text{ мг/кг}$ , что существенно ниже ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) керосина в грунтах ( $100 \text{ мг/кг}$ ).

Таблица 1

Зависимость скорости равномерного осаждения капель керосина  $v_0$ , времени осаждения  $t_R$ , скорости горизонтального разлета  $v_R$ , максимальной дальности разлета  $S_R$  и распределение масс выброшенного керосина по градациям  $m_i$  от радиуса его капель  $R$

$R, \text{ мкм}$	35	105	175	245	315	385	455	525	595
$b, \text{ с}^{-1}$	90,0	10,6	3,60	1,83	1,11	0,743	0,532	0,400	0,311
$v_0, \text{ м/с}$	0,11	0,98	2,72	5,33	8,82	13,1	18,4	24,5	31,5
$t_R, \text{ с}$	900	105	36	19	12	9	8	7	6
$v_R, \text{ м/с}$	2,57	0,86	0,51	0,37	0,29	0,23	0,20	0,17	0,15
$S_R, \text{ м}$	2313	90	18	7,0	3,5	2,1	1,6	1,2	0,9
$m_i, \text{ кг}$	0,03	0,07	0,1	0,15	0,3	0,15	0,1	0,07	0,03

Для среднедисперсных капель  $S_2 \cdot L = (90-7) \cdot 2000 = 166 \cdot 10^3 \text{ м}^2$ , масса загрязненного грунта –  $39840 \cdot 10^3 \text{ кг}$ . При тех же условиях средняя концентрация капель составляет  $\sim 960 \text{ мг/кг}$ , что соответствует 9,6 ОДК.

Для крупнодисперсных капель  $S_3 \cdot L = 3,5 \cdot 2000 = 7 \cdot 10^3 \text{ м}^2$ ; масса загрязненного грунта –  $1680 \cdot 10^3 \text{ кг}$ . Тогда концентрация крупнодисперсных капель в грунте вблизи ВПП равна  $58032 \text{ мг/кг}$ , что существенно превышает ОДК. Такое содержание керосина в грунтах рядом со ВПП соответствует максимальному сильнозагрязненному уровню, при этом происходит кольматация грунта и накопление нефтеуглеводородов на геофизических барьерах. В этом случае саморегенерация грунтов считается невозможной или может происходить в течение десятков лет при условии, что загрязнитель в грунты не поступает.

Расчет загрязнения грунтов приаэродромных территорий керосином показывает, что экологически опасное загрязнение наблюдается на расстоянии до 100 м от ВПП аэродрома «Балтимор» (аналогичные результаты получены для «Энгельс-2»). Ближайший жилой район находится на расстоянии 1,8 км от ВПП аэродрома «Балтимор», где уровень загрязнения грунтов керосином находится ниже его ОДК. На расстоянии 800 м от ВПП аэродрома «Энгельс-2» расположены дачи и здесь содержание керосина в грунтах повышенено до 1-1,5 ОДК. Подобное расположение рекреационной и селитебных зон характерно для большинства аэродромов государственной авиации, что вызвано естественным и неизбежным ростом урбанизации, постепенному слиянию городов с авиационными комплексами.

**Заключение.** Получено удовлетворительное совпадение ( $R^2=0,80$ ) расчетных и экспериментальных данных загрязнения грунтов приаэродромных территорий топливом, выбрасываемым в форсажном режиме работы двигателей самолетов, несмотря на то, что в расчете не были учтены изменения высот полета самолетов.

#### **Список литературы**

1. Базарский О.В. Модель испарения капель керосина в атмосфере и загрязнения грунтов приаэродромной территории / О.В.Базарский, Ж.Ю.Кочетова // Вестник МГТУ. – 2019. – № 1. – С. 64–71.

УДК 528.88

## **МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ, ЗАТАПЛИВАЕМЫХ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ INTERNET СЕРВИСА GOOGLE EARTH PRO**

***Недопекин Ф.В.***, д-р. техн. наук, профессор,

***Несова А.В., Шеставин Н.С.***, канд. техн. наук.

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

*f.nedopekin@gmail.com, arina.nesova@gmail.com, n.shestavin@mail.ru*

**Введение.** На территории Донбасса располагается огромное количество различных техносферных объектов, таких как: породные отвалы, угольные шахты (терриконы), хвостохранилища горно-обогатительных предприятий, насыпные породные отвалы карьеров и т.п. Эти объекты занимают собой большую территорию, а на наблюдение за ними тратиться большое количество времени. Именно поэтому использование данных дистанционного зондирования Земли и новых современных программных средств в области мониторинга техносферных объектов и территорий, является на данный момент актуальным и перспективным, так как позволит оперативно получать данные в настоящий момент времени, прослеживать и давать оценку изменениям на протяжении длительного периода благодаря, доступу к архивным данным.

**Цель.** Изучить динамику изменений техносферных объектов, расположенных на территории Донбасса с использованием методов дистанционного зондирования Земли и Internet-сервиса Google Earth Pro, за счет данных, полученных с архивной съемки и измерения площадей объектов.

**Основная часть.** Так как на оптимальное наблюдение за техносферными объектами тратиться большое количество финансовых и человеческих ресурсов, то стоит задача по поиску альтернативных подходов в мониторинге.

Одним из таких подходов является использование методов дистанционного зондирования Земли.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) позволяет получать информацию об объектах и их свойствах, не контактируя напрямую с ними. Использование же других методов, например: проведение аэрофотосъемки с помощью беспилотных летательных аппаратов является дорогим способом получения информации и поэтому не каждому заказчику доступно.

Снимки же, полученные с космоса, позволяют охватывать на поверхности Земли большие территории, что дает возможность, применяя специальные технологии компьютерной обработки, анализировать процессы, которые исследуются в один и тот же момент времени на больших площадях.

Дешифрирование данных ДЗЗ производится по некоторым критериям, которые присущи всем техносферным объектам, а именно, местам по добычи полезных ископаемых: карьерам. Карьер представляет собой: открытую почву (овраг), наличие подъезда к нему – дорогу и насыпные отвалы.

В качестве исходных данных были использованы космические снимки Земли за длительный период времени с 2015 по 2018 год.

Как область для исследований брался некоторый техносферный объект с определенной местностью и территорией, карьер Докучаевского флюсо-доломитного комбината, который подвержен затоплению [1].

Internet-сервис Google Earth Pro является удобным инструментом по работе с космическими снимками, особенно когда ставится задача, по измерению высот различных объектов, наблюдению и вычислению площадей объектов и сооружений, потратив на этот процесс минимальное затратное время.

Сама по себе Google Earth представляет собой программу – «виртуальный глобус» компании Google, с помощью которой можно просматривать трехмерную модель Земли, аэро- и космоснимки высокого разрешения и различные слои данных. Русская версия Google Earth имеет название Google Планета Земля. Программа изначально была выпущена компанией Keyhole Inc и называлась Earth Viewer, а в 2004 году была продана компании Google. Для визуализации изображения используется трёхмерная модель всего земного шара (с учётом высоты над уровнем моря), которая отображается на экране при помощи интерфейсов DirectX или OpenGL. Пользователь может легко перемещаться в любую точку планеты, управляя положением «виртуальной камеры».

Основные возможности бесплатной версии Google Earth: 1) измерение расстояния; 2) распечатка и сохранение снимков; 3) открытие в браузере Google Maps; 4) функции поиска мест и маршрутов, быстрый переход по координатам; 5) обзор мест (меток) – автоматический перелёт; 6) имеется большое количество дополнительных данных, которые можно подключить по желанию пользователя.

Например, названия населённых пунктов, водоёмов, аэропортов, дороги, ж/д и др. информация. Кроме этого, для крупных городов имеется более подробная информация – названия улиц, магазины, заправки, гостиницы, и т.д.; 7) пользователи могут создавать свои метки, рисовать пути и многоугольники, накладывать свои изображения поверх спутниковых (это могут быть карты или более детальные снимки, полученные из других источников, а также 3D модели). Эти метки можно сохранять в файлы KML и обмениваться с другими пользователями программы, 8) переход по фотографиям – некоторые фотографии с высоким разрешением поддерживают возможность перемещения по ним и т.д. [2].

В результате проведения экспериментальных исследований получено, что динамика изменений площади наблюдаемого карьера резко росла с каждым годом, так, к примеру: на снимке, сделанным космическим аппаратом за 23 февраля 2015 года, площадь затопленного карьера равна примерно 0,08 кв.км., а 13 апреля того же года площадь уже выросла на 0,02 кв.км. Данные полученные за 2016-й год показали, что площадь карьера увеличилась на 0,1 кв.км. Съемка за 2017-й показала, что площадь карьера намного выросла в показателях на 0,13 кв.км. По состоянию на сегодня, площадь карьера не изменилась.

**Заключение.** Подводя итоги, можно сказать следующее, что предложенный метод может широко применяться в мониторинге состояния техносферных объектов и территорий для адекватной оценки состояния объектов.

Онметод может быть использованным для прослеживание динамики изменения площадей техносферных объектов и их высот, а так же в качестве альтернативы другим дорогостоящим методам и способам мониторинга, и в ситуациях, где требуется получение оперативной информации и быстрота принятия соответствующих мер.

## Список литературы

1. Шеставин Н.С. Обоснование создания системы спутникового мониторинга динамики техногенных месторождений Донбасса / Н.С.Шеставин, Ф.В.Недопекин, А.В.Несова // Сборник тезисов докладов шестнадцатой всероссийской открытой конференции Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: Изд-во: Институт космических исследований Российской академии наук (Москва), 2018. – С.122.
2. Обзор программы Google Earth (Планета Земля) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://webmap-blog.ru/bez-rubriki/review-programs-google-earth-planet-earth> (10.09.2019)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛОКУЛЯНТА

*Собко А.Ю.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*sobkob3@gmail.com*

Водорастворимые полимеры, в качестве флокулянтов, широко используются при очистке природных и сточных вод от взвешенных веществ, а также для обезвоживания и уплотнения образовавшихся осадков.

Важнейшие условия успешного хлопьеобразования при очистке сточных вод с помощью флокулянтов – создание оптимальных гидродинамических условий смешения и достаточное по длительности перемешивание реагента с очищаемой водой. Результаты многочисленных исследований [1-4] показывают, что роль быстрого перемешивания заключается не только в быстром и полном распределении реагента в массе очищаемой воды, но и в образовании новой фазы, из которой формируются флокулы из тонкодисперсной взвеси. Режим перемешивания в значительной степени влияет на частоту столкновений дисперсных частиц, т.е. на скорость флокуляции. Коэффициент молекулярной диффузии в жидкости сравнительно невелик, в связи с этим скорость гетерогенных реакций определяется гидродинамическими условиями, так как массоперенос преобладает над молекулярной диффузией уже при самых незначительных скоростях потока.

Одновременно с образованием, под воздействием броуновского движения, турбулентных пульсаций и локальных градиентов скорости, происходит разрушение флокул на более мелкие агрегаты. Образование и разрушение повторяется неоднократно, и конечный размер таких флокул зависит от соотношения скоростей обоих процессов.

Правильный выбор гидродинамических условий обработки загрязненной воды флокулянтом позволяет достичь наибольшего ее осветления, улучшить физические свойства осадков, которые определяют его дальнейшее уплотнение и обезвоживание, а также сократить расход реагента.

Для изучения влияния интенсивности перемешивания на эффективность протекания процесса флокуляции предлагается использовать экспериментальную установку, изображенную на рис. 1.

Установка представляет собой механический смеситель с двухлопастной мешалкой и цилиндром – отстойником, в котором происходит седиментация образующихся флокул.

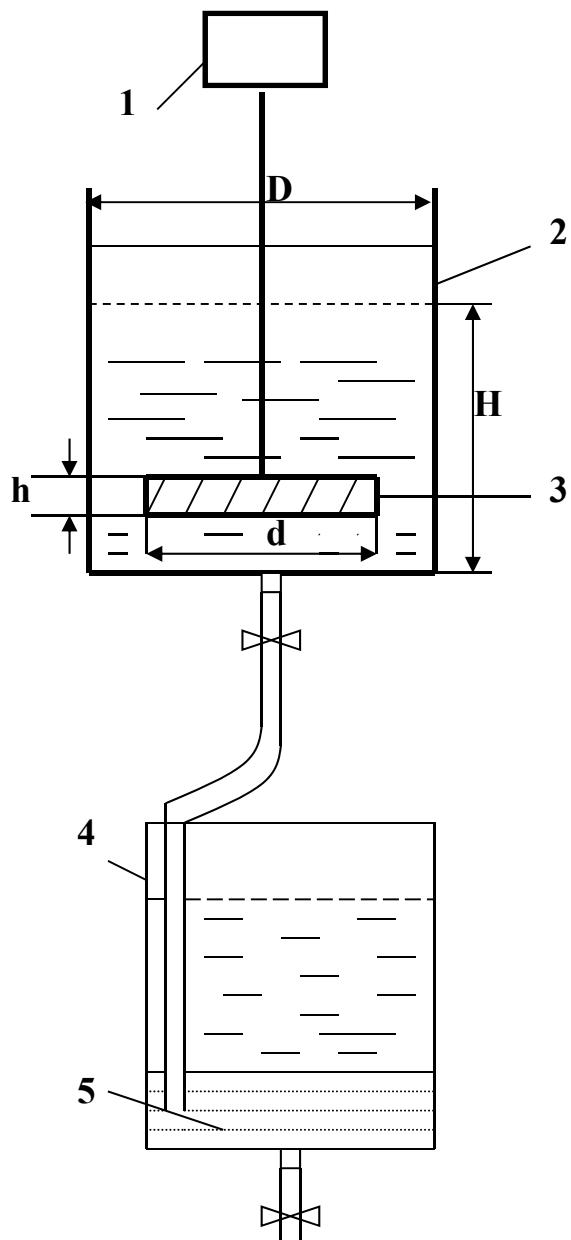


Рис.1. Принципиальная схема установки: 1 – электропривод размешивающего устройства; 2 – корпус смесителя; 3 – лопастная мешалка; 4 – цилиндр-отстойник; 5 – осадок

Состояние жидкости в процессе перемешивания можно характеризовать средним градиентом скорости  $G$ , который рассчитывается с использованием затрачиваемой на перемешивание энергии [2]:

$$G = \sqrt{W/\eta}, \quad (1)$$

где  $W$  – удельная затрата энергии на единицу объема очищаемой жидкости,  $\eta$  – динамическая вязкость.

Для размешивающего устройства с рабочей мощностью  $P$  энергия, расходуемая на перемешивание, определяется зависимостью:

$$W = Pt. \quad (2)$$

Рабочая мощность может быть выражена с использованием критерия Эйлера [2, 3]:

$$P = \text{Eu} \rho n^3 d^5 \quad (3)$$

где  $\text{Eu}$  – критерий Эйлера;  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $n$  – частота вращения,  $\text{с}^{-1}$ ;  $d$  – диаметр размешивающего устройства, м.

Значение критерия Эйлера  $\text{Eu}$ , по опытным данным, в зависимости от числа Рейнольдса для различных типов размешивающих устройств определяется по номограмме [4]. Найденные значения  $\text{Eu}$  следует умножить на коэффициент  $\chi$ , учитывающий соотношение геометрических размеров размешивающих устройств.

Для лопастных мешалок

$$\chi = \left( D/3d \right)^{1,1} \left( H/D \right)^{0,6} \left( 4h/d \right)^{0,3}, \quad (4)$$

где  $H$  – высота;  $D$  – диаметр мешалки,  $h$  – высота лопасти.

Число Рейнольдса для размешивающего устройства целесообразно определять по формуле:

$$\text{Re}_m = \rho n d^2 / \eta \quad \text{или} \quad \text{Re}_m = n d^2 / \nu, \quad (5)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\eta$  – динамическая вязкость,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

Легко видеть, что градиент скорости с учетом (1)

$$G^2 = \text{Eu} \chi n^3 d^5 / \nu V \quad (6)$$

Рекомендуется использовать смеситель со следующими геометрическими параметрами:  $H=300$  мм;  $D=300$  мм;  $d=100$  мм;  $h=25$  мм. То есть,  $D/d=3$ ,  $h/d=0,25$ ,  $H/D=1$  и, в соответствии с формулой (4), коэффициент  $\chi = 1$ , т.е. соблюдается геометрическое подобие для данного смесителя.

Отбор проб осветленной воды производится сифонным методом из верхней части цилиндра. Эффективность флокулянта определяется по степени осветления очищаемой воды фотометрическим методом.

## Список литературы

1. Николаев А.Ф. Водорастворимые полимеры / А.Ф.Николаев, Г.И.Охрименко. – Л.: Химия, 1979. – 144 с.
2. Вейцер Ю.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод / Ю.М.Вейцер, Д.М.Минц. – М.: Стройиздат, 1984. – 204 с.
3. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами / Е.Д.Бабенков. – М.: Наука, 1977. – 356 с.
4. Собко А.Ю. Оптимизация режима перемешивания водных дисперсных систем с флокулянтом / А.Ю.Собко // Вісник Донецького національного університету. Серія А: Природничі науки. 2008, № 2. – С.484-489.
5. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник 5-е изд / А.Н.Плановский, В.М.Рамм, С.З.Каган. – М.: Химия, 1968. – 848 с.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ТРАНСПОРТЕ УГЛЕВОДОРОДОВ КАК ОСНОВА МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ

*Целик М.С.*

ФГБОУ ВПО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, РФ  
*margarita.tzelik@gmail.com*

**Введение.** Одной из самых важных проблем современного мира было и остается именно топливо. Всем известный факт, что ТЭК – энергетическая, экономическая и промышленная основа многих стран, наибольший удельный вес в промышленной отрасли. Высокотехнологичные производства, которые задействуют массу прочих технических и экономических ресурсов. Добыча, переработка и транспорт углеводородов – были и остаются главными причинами загрязнения окружающей среды. Нефтегазовая часть ТЭК – самый природоемкий и экологически небезопасный сектор экономики. Отрасль, которая очень быстро набирает обороты на пути к высокотехнологичному производственному процессу. С течением времени, благодаря постоянному приросту объемов добычи, переработки и потребления, нефтегазовая промышленная отрасль в целом увеличивает и порог безопасности. Даже с учетом некоторых стран, не соблюдающих всех норм в должном виде [2].

**Цель** данной работы заключается в рассмотрении вопроса необходимости качественного улучшения производственной и транспортной инфраструктуры, особенно, если вести речь о расширении потребительских рынков, что является одной из приоритетных задач.

**Основная часть.** Транспортировка углеводородов также должна улучшаться, параллельно всем процессам. Стоит помнить о поддержании имеющихся промобъектов транспорта углеводородов на таком уровне, чтобы была полностью предоставлена техническая и экологическая возможность обеспечения эксплуатационной безопасности. В первую очередь опасность представлена физико-химическими свойствами той субстанции, которую транспортируют, так как, при аварии с разливом, гарантировано загрязнение объектов окружающей среды. Основу нефти представляют такие углеводородные соединения: алканы, циклоалканы и ароматические (самые токсичные компоненты). Также, в нефти содержатся минеральные соединения, вода и микроэлементы, включая металлы.

Транспортировка нефти и нефтепродуктов (бензин, дизтопливо, мазут, газ и др.) на сегодняшний день складывается из множества важных составляющих, без которых данный процесс был бы невозможен: экология, экономика, социология, внешняя и внутренняя политика.

Подчеркнем, что самыми распространенными способами транспортировки углеводородов продолжают быть железнодорожный способ и автоперевозки для нефтепродуктов, а если говорить о перемещении нефти по РФ или о поставках нефтепродуктов за рубеж, то это трубопроводный и танкерный транспорт. Помимо этого, при транспорте нефти и нефтепродуктов не стоит забывать про меры безопасности против незаконного забора сырья на транзитных отрезках маршрута [3].

В мировую водную среду попадает около 1 % от перевозимых нефтепродуктов, более 10 млн. тон ежегодно. Данные потери являются огромными. Растворимость нефти в воде зависит от ее непосредственного состава и варьируется от 10 до 50 мг/л. Растворимость бензина 9 – 505 мг/л, дизельного топлива 8 – 22 мг/л, керосина 2 – 5 мг/л. Растворимость в воде углеводородов, которые формируют состав разнится в пределе от 0,0017 мг/кг до 1780 мг/кг. Потребление энергоносителей растет, добыча растет, с ростом добычи, соответственно, возрастает и объем перевозимого продукта при помощи танкеров, который и без того достигал более половины от всего существующего количества, а значит, что и число танкеров, способных транспортировать такие крупные партии нефти тоже увеличивается. Данная прямая зависимость подводит к тому, что и число аварийных ситуаций также возрастает, поскольку тормозной путь супертанкера составляет около двух километров. Самый большой ущерб наносят разливы нефти в случае, если их выносит на берег. Минимизировать данные аварийные потери позволяет слаженная работа экипажа танкера, которая регулируется согласно «Судовому плану чрезвычайных мер по борьбе с загрязнением нефти» (Конвенция МАРПОЛ 73/78, Международная конвенция по борьбе с нефтяными загрязнениями, оповещении и сотрудничестве (1990), Постановление Правительства РФ № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (от 21.08.2000 г.). Необходимыми мероприятиями по предотвращению загрязнения гидросфера в данном случае может выступать комплекс, состоящий из увеличения финансирования на инновационные технологии по добыче, транспорту и переработке, а также разработку более совершенных методик по очистке поверхностных природных вод и сточных вод нефтегазовых предприятий.

Транспортировка по магистральным трубопроводам и нефтепроводам – самый выгодный с точки зрения экономики способ транспорта нефти и нефтепродуктов, в два раза ниже по себестоимости, чем железнодорожный способ. По длине нефтепроводов наблюдается ситуация, что на 15 % от площади освоения полностью уничтожен растительный покров, который в свою очередь ведет к уменьшению численности млекопитающих в таких районах [3]. Основная особенность, действующих на сегодняшний день, магистральных нефтепроводов – это полное несоответствие нормативно-проектных требований, которые предусматривают срок эксплуатации 30–35 лет, и фактического

использования. Уже больше 40% трубопроводов превысили допустимый нормативный срок эксплуатации, и проблема потребности увеличения этого срока в действительности реально существует. Протяженность трубопроводов Западной Сибири 100 000 км. У трети трубопроводов срок службы – 30 лет, а ежегодной замене подвергаются не более 2 %, что является пятой частью от нормы [1].

Для повышения надежной и безопасной эксплуатации объектов МН можно использовать последовательную реализацию отбора параметров, полно характеризуют техническое состояние. Дополнять это должна разработка методов оценки и дальнейшего прогнозирования технического состояния производственных объектов с учетом всех параметров.

Еще одной глобальной экологической проблемой является меры по ликвидации аварий, которые не редко только ухудшают масштаб экологической катастрофы. Решить этот вопрос можно только при пересмотре нормативных документов, замене устаревшего оборудования, использовании современных реагентов и инновационных методов очистки окружающей среды от загрязнений. Для того, чтобы меры по ликвидации аварий не наносили дополнительный ущерб, в первую очередь необходима их комплексная оценка. Использовать стоит только новое и качественное оборудование, что обосновано требует больших финансовых вливаний.

**Заключение.** Мировое энергосостояние, геополитика и мировая экономика сильно зависят от экологической безопасности при добыче и транспортировке углеводородов, данное направление является приоритетным. С тенденцией к увеличению потребления энергетических ресурсов, растет вся промышленная энергетическая мощь нефтедобывающих стран, а соответственно, экономическая стабильность. Важнейшей из задач деятельности нефтегазовых компаний является разработка методов комплексной оценки технического состояния оборудования. Соблюдая все экологические требования и конструкционно-технологические меры безопасности, и планируя эти меры наперед, можно избежать прогнозируемых потерь при транспортировке углеводородов. И наилучшим направлением развития мероприятий по экологической безопасности является акцент на научно-технические инновации.

## Список литературы

1. Адам А.М. Теория и методы обеспечения экологической безопасности технологических объектов и территорий в целях устойчивого природо-пользования на примере Западной Сибири: дис. д-ра техн. наук: 25.00.36 / Адам Александр Мартынович. – М., 2003. – 316 с.
2. Воробьев Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефтепродуктов / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. – М.: ЭНАС, 2005. – 368 с.
3. Сизов В.Ф. Транспорт и хранение углеводородов: учебное пособие / В.Ф. Сизов. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2013. – 140 с.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ВОПРОСОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ

*Черных В.Н., Винник Н.Н., Тычинина А.П.,*

*Пугачева И.Н., д-р техн. наук, доцент,*

*Молоканова Л.В., канд. биол. наук, доцент*

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,  
г. Воронеж, РФ  
*eco-inna@mail.ru*

В настоящее время российская промышленность синтетического каучука является одной из наиболее конкурентоспособных и успешных частей нашей нефтехимии. Последние несколько лет производство и потребление синтетического каучука в РФ стабильно растет [1]. Однако наряду с достоинствами производство синтетических каучуков, в частности, получаемых эмульсионной полимеризацией, имеет ряд недостатков [2]. Например, высокий расход коагулирующего агента, что приводит к значительному загрязнению сточных вод, сбрасываемых в канализацию из цехов выделения остатками коагулирующего агента, подкисляющего агента и другими компонентами эмульсионной системы [3]. Поэтому разработка инновационных и перспективных комплексных технологических решений позволяющих повысить эффективность и экологичность производства является актуальной задачей.

Целью данной работы явилось изучение процесса коагуляции латекса эмульсионного каучука при различных температурных режимах с использованием в качестве коагулирующих агентов солей поливалентных металлов.

В качестве объектов исследования были выбраны: латекс эмульсионного каучука СКМС-30 АРК; коагулирующие агенты – водные растворы (10 % мас.) хлоридов калия, магния, алюминия, олова (IV); подкисляющий агент – водный раствор (2 % мас.) серной кислоты.

Процесс выделения каучука из латекса изучали на коагуляционной установке, представляющей собой емкость, снабженную перемешивающим устройством и помещенную для поддержания заданной температуры в термостат. В емкость загружали 20 мл латекса, термостатировали в течение 15-20 минут, после чего вводили водные растворы коагулирующих агентов и серной кислоты. Коагуляцию проводили при  $pH= 2,0-2,5$ . Температуру процесса выдерживали 20, 40, 60, 80  $^{\circ}\text{C}$ .

Полученные данные по исследованию влияния температуры, расхода и природы коагулирующих агентов на полноту выделения каучука из латекса представлены в табл. 1-3.

Полученные экспериментальные данные показывают, что увеличение заряда катиона металла от +1 до +3 способствует резкому снижению расхода коагулянта.

Таблица 1

Влияние расхода коагулянта и температуры на полноту выделения каучука из латекса

Расход хлорида калия, кг/т каучука	Выход крошки каучука, %			
	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C
10	11,4	15,2	16,7	16,5
25	18,6	22,3	24,6	20,5
50	58,2	62,9	66,2	77,6
75	84,6	86,5	87,2	89,9
100	90,1	91,4	92,2	97,1
125	92,7	92,6	95,8	99,9
150	94,7	95,2	97,7	—

Таблица 2

Влияние расхода коагулянта и температуры на полноту выделения каучука из латекса

Расход хлорида магния, кг/т каучука	Выход крошки каучука, %			
	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C
5	18,2	21,2	21,3	17,7
10	25,3	31,2	31,5	26,3
15	42,3	48,2	49,0	60,9
20	69,5	71,3	76,8	90,2
25	81,3	85,6	90,1	95,4
30	93,3	94,2	96,5	98,6

Таблица 3

Влияние расхода, природы коагулянта и температуры на полноту выделения каучука из латекса

Расход коагулянта, кг/т каучука	Выход крошки каучука, %					
	AlCl <sub>3</sub>			SnCl <sub>4</sub>		
	40 °C	60 °C	80 °C	40 °C	60 °C	80 °C
1	10,5	11,5	16,2	20,1	15,6	16,5
2	21,1	22,3	28,5	44,6	38,3	34,5
3	38,2	42,6	54,5	78,6	65,2	62,3
5	68,2	76,2	82,9	91,5	82,6	78,9
6	81,0	90,2	92,1	97,2	90,4	88,5
8	91,0	93,5	96,2	-	96,2	90,5
9	94,2	95,2	98,2	-	-	95,7

Однако в случае применения катиона олова +4 отмечаются некоторые особенности, которые связаны прежде всего с тем, что повышение температуры до 40 °C приводит к тому, что расход хлорида олова, требуемого для полного выделения каучука из латекса, начинает превышать расход хлорида алюминия. Из чего следует, что катион олова +4 не проявляет свою высокую коагулирующую способность при повышенных температурах.

Важной особенностью хлорида олова (IV), как коагулянта является то, что в случае его применения не требуется дополнительное подкисление коагулируемой системы серной кислотой. Кислая среда коагуляции создается в данном случае хлоридом олова. В водном растворе хлорид олова подвергается гидролизу. Гидролиз хлорида олова может протекать по нескольким направлениям: с образованием хлористоводородной и оловянной кислот и гексахлороловянной кислоты [4].

Кроме того, образование гексахлороловянной кислоты возможно в результате взаимодействия хлористоводородной кислоты с хлоридом олова (IV). Гексахлороловянная кислота является сильной кислотой. Ее устойчивые соли в растворе имеют нейтральную реакцию. Они не гидролизуются даже при кипячении. Поэтому поверхностно-активные вещества эмульгирующей системы могут реагировать с гексахлороловянной кислотой. Процесс гидролиза  $\text{SnCl}_4$  приводит к снижению концентрации (содержания) соли в коагулируемой системе, что отражается и на ее расходе. Этим вероятнее всего и объясняется наблюдаемое явление, когда с повышением температуры (до 40-80 °C) расход  $\text{SnCl}_4$  для достижения полноты выделения каучука из латекса практически сравнивался с хлоридом алюминия и превышал его. Интересной особенностью процесса коагуляции с применением  $\text{SnCl}_4$  является образование мелкодисперсной крошки каучука, что нельзя считать положительным эффектом с практической точки зрения. Это ведет к значительным ее потерям с промывными водами цехов выделения.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать вывод, что применение перспективных коагулянтов в технологии получения эмульсионных каучуков в комплексе с технологическими параметрами (температурным режимом) позволяет повысить эффективность и экологичность их производства.

### **Список литературы**

1. Аксёнов В.И., Золотарев В.Л. Производство синтетического каучука в РФ в 2018 году и за последние десять лет. Краткие итоги / В.И.Аксёнов, В.Л.Золотарев // Каучук и резина, 2019. – Т. 78. – № 2. – С. 78-87.
2. Аверко-Антонович И.Ю. Синтетические латексы. Химико-технологические основы синтеза / И.Ю.Аверко-Антонович. – М.: Альфа – М, 2005. – 345 с.
3. Пугачева И., Композиционные материалы: получение, свойства и применение / И.Пугачева, С.Никулин // LAP LAMBERT Academic Publishing. 2017. – 219 с.
4. Глинка Н.Л. Общая химия / Н.Л.Глинка, А.В.Бабков, В.А. Попков. – Москва: Юрайт, 2015. – 900 с.

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАКОПЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДОНБАССА

**Шеставин Н.С.**, канд. техн. наук,  
**Недопекин Ф.В.**, д-р техн. наук, профессор, **Юрченко В.В.**  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет, г. Донецк, ДНР  
*n.shestavin@mail.ru*

**Введение.** Текущее глобальное изменение климата вызвано, в значительной степени, увеличением количества парниковых газов в атмосфере, главным образом диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ). Основным антропогенным источником выбросов  $\text{CO}_2$  являются предприятия энергетики и промышленности, которые широко используют сжигание ископаемого топлива, что создает большие экологические риски для окружающей среды [1].

Исследования путей смягчения последствий глобального изменения климата указывают на необходимость в ближайшем будущем значительно сократить выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферу посредством реализации технологий улавливания и хранения  $\text{CO}_2$  (УХУ). Внедрение технологий УХУ в энергетике и других отраслях временно ослабит последствия изменения климата до разработки экологически чистых источников энергии. Но при использовании технологий УХУ существуют риски утечки  $\text{CO}_2$ , которые могут оказаться неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

Территория Донбасса обладает наиболее значительным потенциалом [2] в Европе для геологического хранения  $\text{CO}_2$  с целью смягчения последствий изменения климата. Этот потенциал для накопления  $\text{CO}_2$  оценивается от 45,7 до 428,3 миллиарда тонн, что вызывает интерес к возможности его использования для нужд всей Европы, но при этом следует учитывать большие экологические риски геологического хранения  $\text{CO}_2$  на территории Донбасса и в первую очередь влияние утечек  $\text{CO}_2$  на качество подземных вод.

Ранее были определены геологические структуры Донбасса [3], пригодные для долговременного хранения сверхкритического  $\text{CO}_2$ , который транспортируется по существующей газотранспортной системе с некоторыми модернизациями, а затем закачивается в палеозойские осадочные отложения Донбасса на 8 перспективных участков, которые не содержат территории крупных населенных пунктов, действующих угольных шахт, а также областей тектонических нарушений в виде соляных штоков и глубинных геологических разломов.

**Целью** данного исследования является определение вероятных сценариев утечки  $\text{CO}_2$  из перспективных участков его геологического хранения и оценка риска утечки  $\text{CO}_2$  через заброшенные скважины и

тектонические разломы, а также оценка влияние утечек CO<sub>2</sub> на качество подземных вод региона на примере одного самого большого участка для геологического хранения CO<sub>2</sub> на севере Донбасса.

**Основная часть.** Возможные утечки CO<sub>2</sub> в процессах его улавливания и транспортировки будут носить чрезвычайный характер, поэтому их можно легко идентифицировать и устранить. Утечку CO<sub>2</sub> из подземного хранилища трудно предсказать и трудно обнаружить. Следовательно, территории, на которых будут расположены перспективные участки геологического хранения CO<sub>2</sub>, подвержены риску негативного воздействия на человека и окружающую среду.

В процессе закачки и хранения CO<sub>2</sub> в основном могут быть реализованы три сценария утечки CO<sub>2</sub> из его геологических хранилищ: 1) утечка из-за недостаточной герметичности породы-покрышки; 2) утечка по заброшенным и действующим скважинам, стволам, штрекам; 3) утечка через существующие разломы и трещины в горных пластиах.

Оценки объемов утечки CO<sub>2</sub> по первому сценарию проводятся путем численного моделирования термогидродинамических и механохимических процессов [4] с учетом реальных параметров и состава горных пород, расположенных над зоной хранения CO<sub>2</sub>. Эти процессы протекают очень медленно (может пройти 100 или 1000 лет, пока продукты процессов достигнут грунтовых вод или поверхности), но он чрезвычайно опасен для людей и окружающей среды (сверхкритический CO<sub>2</sub>, как жидкий, так и двухфазный, является очень эффективным растворителем горных пород и продукты таких химических реакций могут быть токсичными).

Второй сценарий утечки CO<sub>2</sub> может реализоваться в районе выработанных и действующих месторождений нефти и газа. На Донбассе много таких месторождений, некоторые из которых продолжают эксплуатироваться, а некоторые законсервированы или заброшены.

Поскольку заброшенные и действующие скважины расположены вблизи или на территории нефтяных и газовых месторождений, то можно оценить риски (табл. 1) утечки CO<sub>2</sub>, сравнив площади 28 газовых, газо-конденсатных, нефте-газо-конденсатных, нефте-газовых и нефтяных месторождений и 8 перспективных участков на территории Донбасса для геологического хранения CO<sub>2</sub>.

Таблица 1  
Вероятность утечки CO<sub>2</sub> через скважины месторождений нефти и газа

Номер участка для хранения CO <sub>2</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8
Площадь участка, км <sup>2</sup>	4425	4373	1630	1594	3311	1995	2712	9641
Площадь месторождений на участке, км <sup>2</sup>	65,7	–	47,3	45,1	212,9	16,0	–	90,3
Вероятность утечки CO <sub>2</sub> , %	1,5	–	2,9	2,8	6,4	0,8	–	0,9

При реализации третьего сценария утечки CO<sub>2</sub> через существующие разломы и трещины в горных формациях, когда газообразный CO<sub>2</sub> поднимается вдоль тектонических структур данного участка к подземным

водам, влияя на их качество и выходя на поверхность, предполагается, что ширина зоны утечки  $\text{CO}_2$  через геологические разломы в среднем составляет 1 км, то оценка вероятности такой утечки  $\text{CO}_2$  (табл. 2) может быть выполнена для 5 известных глубинных геологических разломов, а также для других достоверных и предполагаемых региональных разломов на территории Донбасса.

Таблица 2  
Вероятность утечки  $\text{CO}_2$  через геологические разломы

Номер участка хранения $\text{CO}_2$	1	2	3	4	5	6	7	8
Площадь участка, $\text{km}^2$	4425	4373	1630	1594	3311	1995	2712	9641
Площадь разломов на участке, $\text{km}^2$	310	439	80	5	262	150	9	142
Вероятность утечки $\text{CO}_2$ в %	7,0	10,0	4,9	0,3	7,9	7,5	0,3	1,5

Как пример оценки влияния утечек  $\text{CO}_2$  на качество подземных вод на перспективном участке геологического хранения  $\text{CO}_2$  № 8 выполнено моделирование с помощью программы MARTHE [5] потоков подземных вод в северной территории Донбасса в районе русла реки Северский Донец и ее левых притоков. Показано, что 46,7% водоносного горизонта в отложениях эоцена, олигоцена и миоцена, 43,0% водоносного горизонта в трещинной зоне мергельно-меловой толщи верхнего мела и 40,9% водоносного горизонта в верхних и современных устьевых отложениях будут подвержены рискам ухудшения качества подземных вод в случае утечки  $\text{CO}_2$  по второму или третьему сценарию на участке № 8.

**Заключение.** Изучение сценариев и рисков утечки  $\text{CO}_2$  при его геологическом хранении на территории Донбасса позволит принять меры по соблюдению мер экологической безопасности при реализации технологий улавливания и хранения диоксида углерода для смягчения последствий глобального изменения климата.

## Список литературы

1. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda. – Washington, DC: The National Academies Press, 2019. – 510 p.
2. COAL ATLAS: Facts and figures on a fossil fuel – 2015, Heinrich Boll Foundation, Berlin, Germany, and Friends of the Earth International, London, UK. – Second English edition, March 2017. – 56 p.
3. Шеставин Н.С. Низко-углеродные возможности для индустриальных регионов Украины: монография / Н.С.Шеставин, Ф.В.Недопекин, В.В.Осетров, В.В.Юрченко. – Дружковка: Юго-Восток, 2015. – 239 с.
4. Xiaochun Li / Coupled Thermal-Hydrodynamic-Mechanical-Chemical (THMC) Processes in  $\text{CO}_2$  Geological Storage // Institute of Rock and Soil mechanics Chinese Academy of Sciences, 2017. – 41 p.
5. MARTHE: Modelling software for groundwater flows. – BRGM, the French National Geological Survey. URL: <https://www.brgm.eu/scientific-output/scientific-software/marthe-modelling-software-groundwater-flows> (дата обращения: 20.09.2019).

# **Теоретическая физика и нанотехнологии**

УДК 538.9, 54.02, 548

## **РОЛЬ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В ПРОЦЕССЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ НАНОПОРОШКОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ**

**Беличко Д.Р., Константинова Т.Е.,** д-р физ.-мат. наук, профессор,  
**Малецкий А.В., Волкова Г.К.,** канд. физ.-мат. наук, **Носолев И.К.**  
ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина», г.Донецк, ДНР  
*daniel.belichko@yandex.ru*

Среди материалов, привлекающих в настоящее время внимание ученых и исследователей, особое место занимает керамика на основе нанопорошков диоксида циркония. Данный материал обладает высокими характеристиками в сравнении с иными известными керамическими материалами. Кроме того, обладая высокой степенью биологической совместимости, а также являясь химически инертным, данный материал находит своё применение в хирургии и трансплантологии в качестве материала для внедрения в живой организм. Особенностью данного материала является возможность варьирования режимов получения керамики, что позволяет получать заданный фазовый состав, и, как следствие, искомые значения физических характеристик, плотности и пористости [1]. Пористость в материалах медицинского назначения играет ключевую роль, поскольку она способствует остеointеграции – прорастанию костной ткани вглубь импланта при их непосредственном контакте [2-5].

Целью настоящей работы было исследование влияния оксида алюминия на структуру нанопорошков диоксида циркония, процесс структурообразования керамики на их основе, а также на свойства полученных образцов.

Нанопорошки состава  $ZrO_2 + 3\text{mol.\%} Y_2O_3 (Z3Y) + nAl_2O_3$ , где  $n=0,1,2,3,5$  вес.%, были получены методом совместного химического осаждения из растворов солей, после чего прокаливались при температуре  $1000^\circ\text{C}$ . Для получения образцов, порошки одноосно компактировались и обрабатывались в условиях высокого гидростатического давления (300 МПа). Спекание керамики проходило в воздушной атмосфере при температуре  $1500^\circ\text{C}$ . В ходе исследования были задействованы рентгеновские методы, методы растровой электронной микроскопии, а также методы исследования механических свойств – гидростатического взвешивания, исследование прочности методом 4-х точечного изгиба, метод составного вибратора для определения модуля Юнга.

Исследование порошков методом РФА показало наличие более 95 % тетрагонального диоксида циркония в исходном сырье. Кроме того, было отмечено существенное уменьшение ОКР с ростом концентрации оксида алюминия в порошках (рис.1).

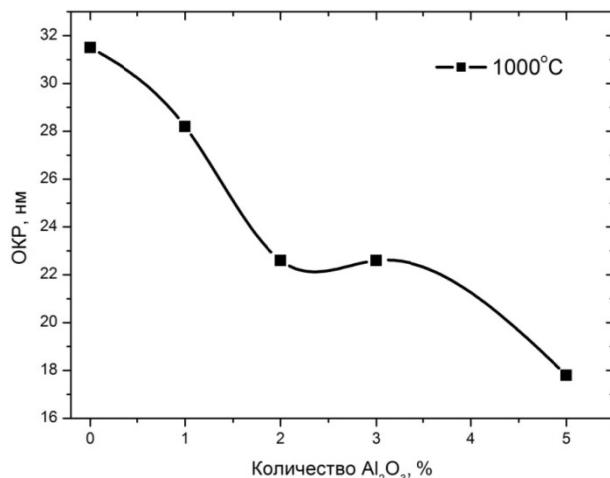


Рис.1. Изменение ОКР в исследуемых образцах с ростом концентрации оксида алюминия

Исследование методами РФА, исходного сырья также показало изменение параметров решётки нанопорошков диоксида циркония с ростом концентрации допиращего оксида. Это говорит о том, что оксид алюминия, находится в решётке тетрагонального диоксида циркония в виде твёрдого раствора замещения. Однако, за счёт существенного различия между радиусами ионов циркония и алюминия ( $\text{Al}^{3+}=0,57\text{\AA}$  и  $\text{Zr}^{4+}=0,82\text{\AA}$ ) на этапе спекания керамики, происходит перераспределение  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и его оседание в местах тройных и четвертых стыков зёрен циркония, что приводит к образованию композитной матрицы  $\text{ZrO}_2$  с включениями в виде оксида алюминия. Подтверждение данного механизма работы оксида алюминия являются результаты РЭМ (рис.2), а также исследование механических свойств (рис.3).

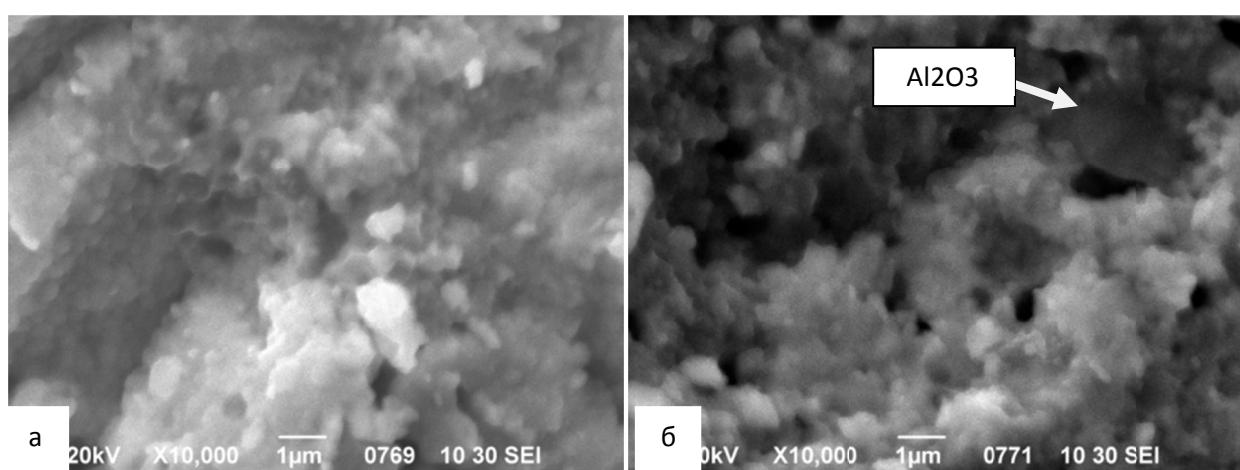


Рис.2. Структура поверхности излома образцов: а)  $\text{ZrO}_2 + 3\%\text{Y}_2\text{O}_3 + 1\%\text{Al}_2\text{O}_3$ ; б)  $\text{ZrO}_2 + 3\%\text{Y}_2\text{O}_3 + 2\%\text{Al}_2\text{O}_3$ . Увеличение  $\times 10000$ , SEI

Немонотонность зависимостей механических свойств с ростом концентрации оксида алюминия говорит о том, что при малой концентрации донорирующего оксида происходит улучшение состояния границ, что приводит к росту свойств (увеличению модуля Юнга, прочности, плотности, уменьшению пористости). Однако, при увеличении концентрации оксида алюминия, происходит его сегрегация в местах тройных – четверных стыков с образованием пористости, что ухудшает механические свойства исследуемых образцов.

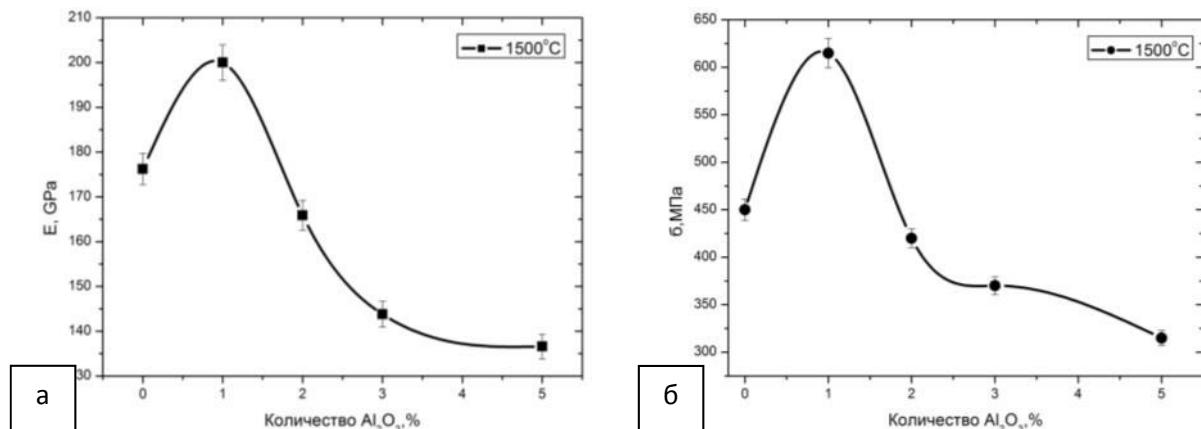


Рис.3. Зависимость механических свойств керамики с ростом концентрации оксида алюминия: а)модуль Юнга, б) прочность

### Список литературы

1. Беличко Д.Р. Влияние высокого гидростатического давления и температуры на упругие свойства керамики на основе  $\text{ZrO}_2$  / Д.Р.Беличко, И.К.Носолев, И.А.Даниленко, Г.К. Волкова // Физика и техника высоких давлений. – 2017. – Т.27, № 2.
2. Hing K.A. Quantification of bone ingrowth within bone derived porous hydroxyapatite implants of varying density / K.A.Hing, S.M.Best, K.A.Tanner et. al. // J. Mater. Sci.: Mater. Med. 1999. – №10/11. – P. 663-670.
3. Krajewski A., Ravaglioli A., Roncari E. et. al. Porous ceramic bodies for drug // J. Mater. Sci.: Mater. Med. 2000. – №12. – P. 763-772.
4. Paul W. Development of porous spherical hydroxyapatite granules: application towards protein delivery / W.Paul, C.P. Sharma // J. Mater. Sci.: Mater. Med. 1999. – №7. – P.383-388.
5. Vaz L. Porosity control of hydroxyapatite implants / L.Vaz, A.B.Lopes, M.Almeida // J. Mater. Sci.: Mater. Med. 1999. – №10. – P. 239-242.

## ЗАПРЕЩЕННАЯ ЗОНА В УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ МАЛОГО ДИАМЕТРА

*Бутъко В.Г.*, канд. физ.-мат. наук

*Гусев А.А.*, канд. физ.-мат. наук, доцент

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

*gusev@dfti.donbass.com*

Совершенно необычные физико-химические свойства углеродных нанотрубок (НТ) позволяют им более 25 лет находиться в центре повышенного внимания исследователей. Это связано с их удивительным разнообразием, и, в особенности, с многочисленными возможностями технологических применений.

В предыдущих работах [1,2] методами теории функционала плотности были исследованы электронные свойства полупроводниковых углеродных НТ. Полученные расчетные значения ширины запрещенных щелей  $E_g$  удивительно точно описываются приведенным в [2] аналитическим выражением:

$$E_g^f = 0.743 \left[ \frac{1}{D} + (-1)^k \cos 3\theta \frac{0.138}{kD^2} \right], \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр НТ в нанометрах;  $k = (m-n) \bmod 3$ ,  $m, n$  – хиральные индексы;  $\theta$  – хиральный угол, который связан с индексами  $m$  и  $n$  соотношением

$$\cos \theta = \frac{2n + m}{2\sqrt{n^2 + nm + m^2}} \quad (2)$$

Приведенная выше формула (1) справедлива при  $D > 0.8 \text{ nm}$ , при меньших диаметрах НТ эффекты кривизны поверхности кардинально влияют на результаты [1]. Такие НТ имеют общепринятое название «узкие» [3]. Для полноты общей картины необходимо провести неэмпирические расчеты электронных свойств в «узких» углеродных НТ. Эта задача и составляет цель работы.

Небольшие размеры «узких» НТ позволили провести первопринципные расчеты зонной структуры некоторых из них [3,4,7]. В табл. 1 приведены значения  $E_g$  «узких» НТ, полученные различными методами расчетов как с привлечением параметров, так и из первых принципов.

Электронное строение одномерных наноструктур рассчитывалось в рамках теории функционала плотности методом проекционных присоединенных волн (PAW) [8], программный пакет VASP (Vienna *ab initio* simulation package).

Таблица 1

Запрещенные щели  $E_g$  (eV) в «узких» углеродных НТ

(m,n)	Полуэмпирические расчеты			Неэмпирические расчеты		
	TB			LDA		
	[4]	[5]	[6]	[4]	[3]	
(4,0)	2.52	2.49		0.0	0.0	0.0
(3,2)	2.41	2.38		0.39	0.46	
(5,0)	2.32	2.30		0.0	0.0	0.0
(4,2)	2.11	2.09	2.15	0.25	0.34	
(5,1)	1.87	1.85		0.13	0.0	
(4,3)	1.76			1.31	1.28	
(6,1)	1.74	1.72		0.41		
(7,0)	1.50	1.48		0.21		0.24
(5,3)	1.59			1.18		
(6,2)	1.47	1.45		0.67		
(8,0)	1.42	1.41		0.59		0.64
(8,1)		1.23				
(6,4)	1.27	1.25		1.09		
(6,5)			1.00			
(9,1)		1.17				

Для обменно-корреляционного потенциала использовалось обобщенное градиентное приближение (generalized gradient approximation (GGA)) в виде, предложенном Perdew–Burke–Ernzenhof. В качестве псевдопотенциалов использовали стандартные псевдопотенциалы VASP. Число разбиений при интегрировании по неприводимой части зоны Бриллюэна в расчетах выбиралось равным 22, что соответствует набору  $k$ -точек в зоне Бриллюэна  $1 \times 1 \times 43$ , а использованный максимальный волновой вектор в наборе плоских волн соответствует энергии 400eV.

В результате проведения самосогласованных расчетов находились оптимизированные позиции всех атомов и полную энергию системы, а затем рассчитывались зонная структура соединения, плотность электронных состояний и т.д. При этом уровень Ферми всегда принимался за начало отсчета энергии. В процессе оптимизации выполнялось требование, чтобы силы, действующие на атомы, были меньше, чем 1 eV/nm. Поскольку атомы С соседних НТ находятся на расстоянии не менее 1.4nm, взаимодействие между ними не существенно.

Результаты наших расчетов зонной структуры «узких» углеродных НТ отражены в табл. 2. Выделим важные особенности. Часть «узких» НТ (5) имеют довольно большую ширину запрещенной зоны  $E_g > 1.0$  eV (максимум 1.31). Заметим, что для остальных НТ ширина запрещенной зоны  $E_g$  не превышает 0.9 eV как для неэмпирических расчетов, так и для

экспериментальных данных [1,2]. Для сравнения в таблице 2 приведены значения ширины запрещенной щели  $E_g^f$  по формуле (1). Неожиданно, но для 6 из 17 НТ значения  $E_g$  и  $E_g^f$  довольно близки.

Таблица 2  
Структурные параметры и ширина запрещенной щели  $E_g$  «узких» углеродных НТ

(m,n)	N	C, mn	D, mn	$E_g$ , eV	$\theta$ , deg	k	$E_g^f$ , eV	$E_g^f - E_g$
(4,0)	16	0.423	0.338	<b>0.0</b>	0.00	1	1.30	1.30
(3,2)	76	1.871	0.357	<b>0.35</b>	23.4	1	1.81	1.46
(5,0)	20	0.434	0.412	<b>0.0</b>	0.00	2	2.11	2.11
(4,2)	56	1.129	0.428	<b>0.26</b>	19.1	2	1.99	1.73
(5,1)	124	2.381	0.450	<b>0.0</b>	8.95	1	1.20	1.20
(4,3)	148	2.603	0.488	<b>1.31</b>	25.3	1	1.40	0.09
(6,1)	172	2.797	0.526	<b>0.40</b>	7.59	2	1.58	1.18
(7,0)	28	0.427	0.559	<b>0.20</b>	0.00	1	1.00	0.80
(5,3)	196	2.990	0.560	<b>1.17</b>	21.8	2	1.39	0.22
(6,2)	104	1.541	0.575	<b>0.66</b>	13.9	1	1.02	0.36
(5,4)	244	3.340	0.622	<b>1.10</b>	26.3	1	1.14	0.04
(8,0)	32	0.427	0.637	<b>0.58</b>	0.00	2	1.59	0.71
(7,2)	268	3.396	0.652	<b>0.84</b>	12.2	2	1.24	0.40
(8,1)	292	3.652	0.679	<b>0.77</b>	5.82	1	0.88	0.11
(6,4)	152	1.862	0.692	<b>1.08</b>	23.4	2	1.11	0.03
(6,5)	364	4.072	0.756	<b>0.92</b>	27.0	1	0.95	0.03
(9,1)	364	4.064	0.759	<b>1.05</b>	5.21	2	1.07	0.02

Примечание: N – число атомов углерода в элементарной ячейке НТ;  
C – постоянная решетки вдоль оси НТ.

## Список литературы

1. В.Г. Бутько, А.А. Гусев, ФТВД **28**, № 2, 90 (2018).
2. В.Г. Бутько, А.А. Гусев, ФТВД **28**, № 4, 122 (2018).
3. I. Cabria, W. Mintmire, C. T. White, Phys. Rev. **B67**, 121406(R), (2003).
4. V. Zólyomi, J. Kürti, Phys. Rev. **B70**, 085403, (2004).
5. R. Nizam, M.M. Sehban, IJSR, **6**, № 1, 1565, (2017).
6. J. Sommer, A. Zienert, S. Gemming, International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices **9**, 1 (2012).
7. O. Gülseren, T. Yildirim, S. Ciraci, Phys. Rev. B65, 153405 (2002).
8. G. Kresse, J. Hafner, Phys. Rev. B48, 13115 (1993).

## КОНДЕНСАЦИЯ БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНА ФОТОНОВ И ПОЛЯРИТОНОВ. КРАТКИЙ ОБЗОР

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

*Федоров С.А.*, д-р физ.-мат. наук, профессор

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

*fenix102030405@gmail.com*

**Введение.** В нынешнее время весьма актуальными являются следствия открытия статистики Бозе-Эйнштейна. Одно из таких следствий – конденсат Бозе-Эйнштейна (БЭК) – пятое агрегатное состояние вещества, представляющее собой наличие в системе с большим числом тождественных бозонов большой доли частиц в состоянии с минимумом энергии. Типичным применением БЭК можно назвать, например, создание энергосетей, основанных на сверхпроводниках. Как известно, часть электрической проводки большого адронного коллайдера выполнена именно из сверхпроводников [1]. В последнее время продолжаются исследования по получению БЭК различных частиц, таких как атомы,光子, и квазичастицы, таких как, поляритоны, магноны и т.д. [2-5].

**Целью** данного доклада является предоставление краткой обзорной информации по фотонному и поляритонному БЭК.

**Фотонный БЭК.** Экспериментально БЭК фотонов был получен в 2010 году группой ученых из университета Бонны, использовавшей микрорезонатор, наполненный молекулами красителя. Так как рассеяние фотонов на этих молекулах было неупругим, то фотоны могли менять свою энергию, не меняя в среднем по времени своего количества. Это и дало возможность сконденсировать фотоны [3].

Схематическое изображение экспериментальной установки по получению фотонного БЭК приведено на рис. 1.

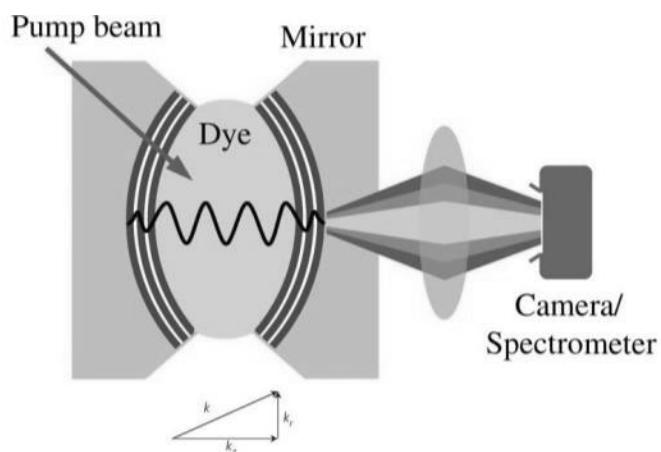


Рис. 1. Схема экспериментальной установки [3, 6]

Структура резонатора позволяла рассматривать фотонный газ как двумерный, а ограничение движения вдоль одного из трех направлений влияло на закон дисперсии, а именно: вблизи  $k=0$ ,  $\omega(k)$  стремится к ненулевому значению и при разложении  $\omega(k)$  в ряд Маклорена по  $k$  появляются слагаемые  $\sim k^2$  [3, 6].

Результаты, указывающие на наличие БЭК фотонов, приведены на рис. 2, на котором видно соответствие БЭК спектра и интенсивности излучения, а также диаметра пятна, соответствующего конденсату (рис. 2 **a, c, d**). Кроме того, видно качественное изменение распределения интенсивности излучения, выходящего из резонатора, указывающее на конденсацию фотонов (рис. 2 **b**) [3].

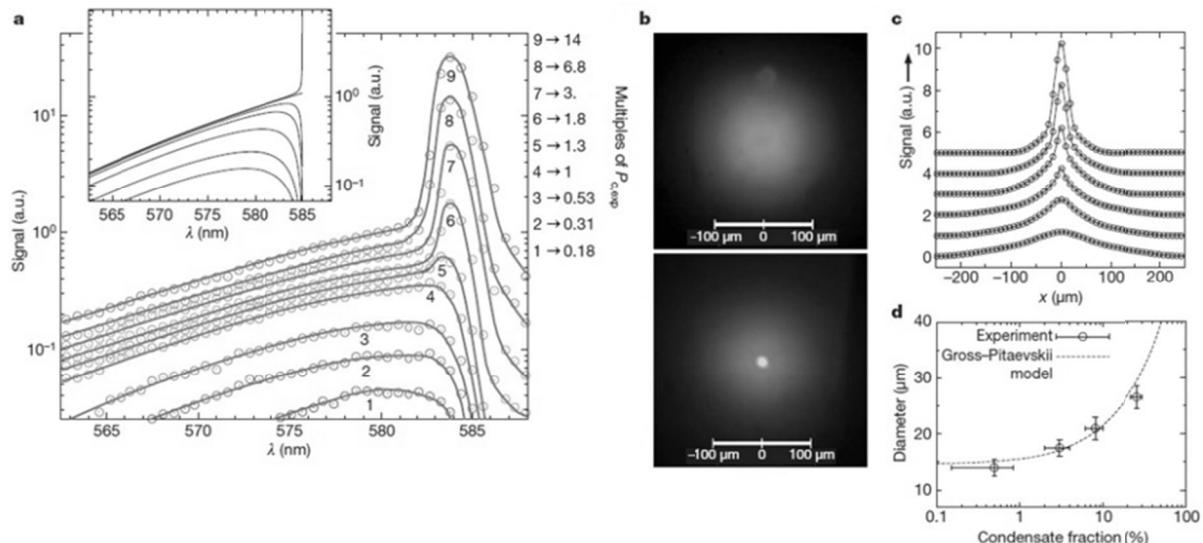


Рис. 2. **a** – спектры излучения, зафиксированные спектрометром (линии, построенные на кружках) в зависимости от мощности пучка накачки ( $P_{c,exp} = 1.55 \pm 0.6$  Вт). Ширина пика, соответствующего конденсату, ограничена разрешением спектрометра. Во вставке приведены аналогичные графики, полученные теоретически. Мощность сигнала приведена в безразмерных единицах. **b** – Изображения распределения излучения, проходящего через зеркало резонатора при концентрации фотонов ниже критической (верхнее изображение) и выше критической (нижнее изображение). **c** – радиальное распределение интенсивности сигнала, проходящего через зеркало резонатора при различных мощностях накачки. **d** – зависимости диаметра конденсатного пика от доли частиц, находящихся в состоянии конденсата, полученные экспериментально (показаны точками замеров, видны области погрешности) и теоретически (пунктирная линия) решением уравнения Гросса-Питаевского [3]

**Поляритонный БЭК.** Одним из направлений исследований БЭК является изучение сверхтекучести. В 2017 году, например, была опубликована работа, направленная на изучение сверхтекучих свойств двумерного поляритонного конденсата. Наличие импульса у сконденсированных поляритонов обеспечивалось тем, что пучок накачки

был направлен на пленку под некоторым углом. Часть результатов этой работы приведена на рис. 3, где показано распределение поляритонов в потоке, направленном на искусственный дефект [7].

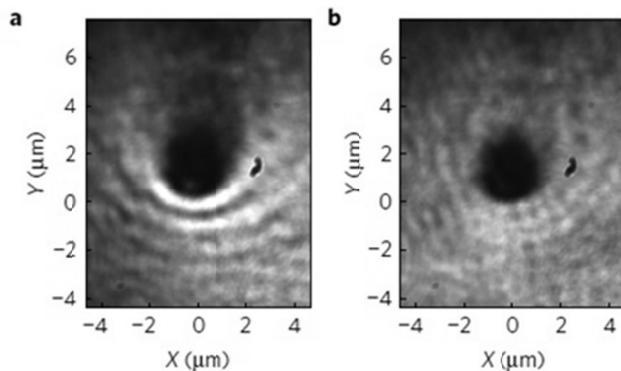


Рис. 3. **a**, распределение поляритонов в потоке с групповой скоростью 19 мкм/пс, направленном снизу изображения на искусственный дефект. Ширина гауссова пучка накачки равна 13 мкм. Центр пятна накачки расположен на 2 мкм ниже местоположения дефекта. Плотность поляритонов равна  $0.5 \cdot 10^6$  единиц на  $\text{мкм}^2$ . **b**, распределение интенсивности в реальном пространстве при плотности поляритонов равной  $10^7$  единиц на  $\text{мкм}^2$ . Интерференционные полосы и теневой конус за дефектом исчезают почти полностью, что характерно для сверхтекучего состояния [7]

**Заключение.** Таким образом, исследования, посвященные получению конденсатов Бозе-Эйнштейна, являются актуальными. Показаны возможности получения БЭК фотонов и сверхтекучести поляритонов. Исследования в области БЭК, например, [3, 7] имеют перспективы применения в информационных технологиях.

### Список литературы

1. The Large Hadron Collider [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider> – CERN Accelerating science.
2. Guha A. An extensive study of Bose-Einstein condensation in liquid helium using Tsallis statistics / A. Guha, P.K. Das // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2018. – V. 497. – P. 272-284.
3. Klaers J. Bose-Einstein condensation of photons in an optical microcavity / J.Klaers, J.Schmitt, F. Vewinger, M. Weitz // Nature. – 2010. – V. 468. – P. 545-548.
4. Кавокин А.В. Поляритонный лазер / А.В. Кавокин // Окно в МикроМир. – 2003. – №2. – С. 13-16.
5. Bunkov Y.M. Magnon condensation and spin superfluidity / Y.M.Bunkov, V.L. Safonov // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2018. – V. 452. – P. 30-34.
6. Klaers J. Thermalization of a two-dimensional photonic gas in a ‘white wall’ photon box / J. Klaers, F. Vewinger, M. Weitz // Nature. – 2010. – V. – 6. – P. 512-515.
7. Lerario G. Room-temperature superfluidity in a polariton condensate / G.Lerario, A.Fieramosca, F. Barachati etc // Nature Physics. – 2017. – V. 13. – P. 837-841.

## ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ И МАГНИТОСТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$ ( $0 < x < 0,25$ ).

*Запорожец В.Д.<sup>1</sup>, Вальков В.И.<sup>2</sup>, Сиваченко Т.С.<sup>2</sup>*

<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

*vladislav.z1996@gmail.com*

Сплавы системы  $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$  в настоящее время позиционируются как «зеленые» магнитокалорические материалы, перспективные для использования в магнитных рефрижераторах. Как известно,  $MnNiGe$  характеризуется мартенситным фазовым переходом из низкотемпературной орторомбической структуры типа  $TiNiSi$  в высокотемпературную гексагональную структуру типа  $Ni_2In$ , температура которого при нагревании  $T_{st} \sim 528K$  [1]. Магнитное упорядочение в основном состоянии – двойная спираль, которая при  $T > 260$  К превращается в простую спираль с точкой Нееля  $T_N = 346$  К. Переход в парамагнитное (PM) состояние является типичным изоструктурным магнитным фазовым переходом 2-го рода [1].

Магнитное поведение  $MnNiGe$  подвержено радикальному изменению при внешних воздействиях (легировании, специальной термообработке, наложении давления и др.). В частности, замещение атомов Mn атомами Cr приводит к сжатию решетки, понижению  $T_{st}$  и возникновению ферромагнитного (FM) состояния на месте гелимагнитной (HM) фазы. Уменьшение параметров кристаллической решетки в конце концов приводит к совмещению магнитного и структурного переходов, изменив при этом характер магнитного превращения PM–FM от изоструктурного перехода 2-го рода до магнитоструктурного перехода 1-го рода, обуславливающего гигантский магнитокалорический эффект (МКЭ) [2]. Исследованию нетривиальных особенностей указанных превращений посвящена настоящая работа (подробное изложение материала будет опубликовано в [3]).

При детальном изучении снятых под давлением экспериментальных температурных зависимостей намагниченности для разных образцов, в частности с  $x=0.04$  и  $x=0.11$  (выбранных нами в качестве демонстрационных образцов), можно заметить слабые аномалии. Например, для сплава с  $x=0.04$  при  $P=10kbar$  и  $x=0.11$  при  $P=4kbar$ , согласно рис. 1а и рис. 3а, при понижении температуры наблюдается скачкообразное возрастание намагниченности, как при переходах 1-го рода. С другой стороны, при нагреве уменьшение намагниченности на величину около 90% происходит непрерывно как при переходах 2-го рода. При этом температуры скачкообразного возникновения и плавного исчезновения намагниченности разделены температурным гистерезисом.

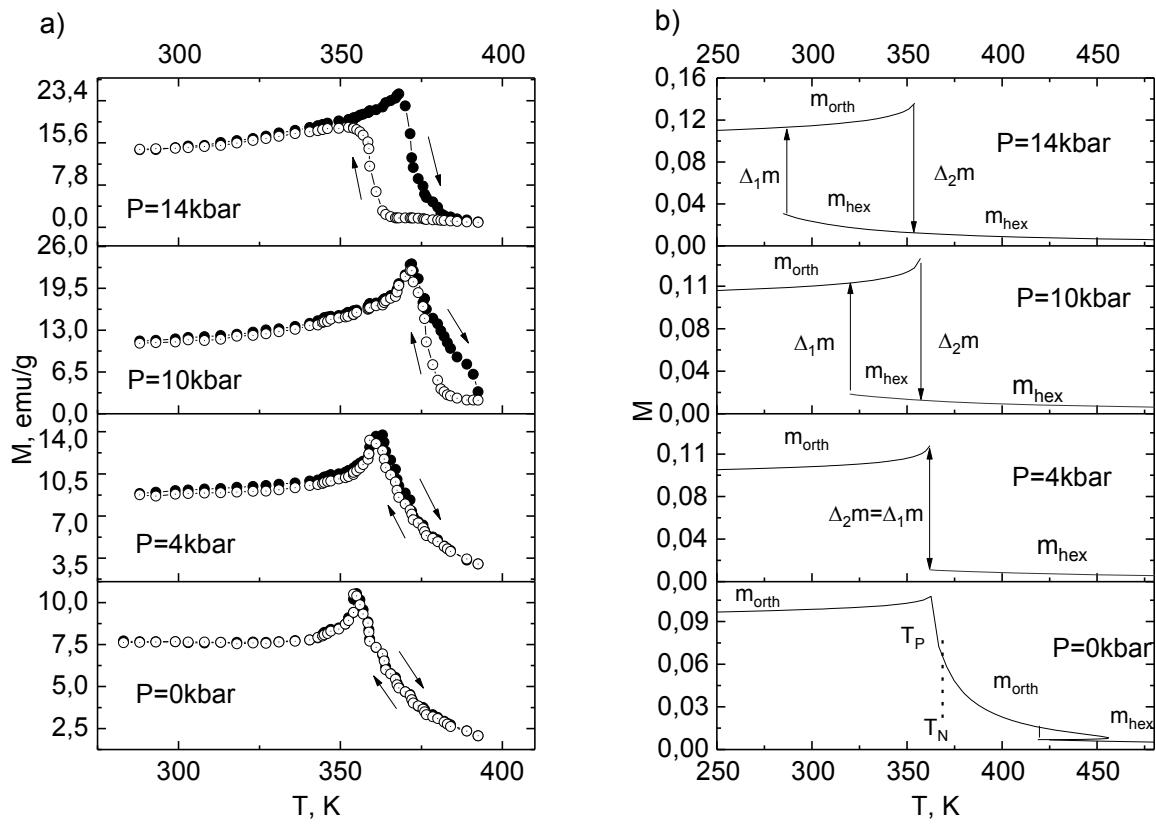


Рис. 1. Сравнение экспериментальных (а) и теоретических (б) зависимостей  $M(T)$  в поле  $B=0.97T$  для образца  $Mn_{0.96}Cr_{0.04}NiGe$

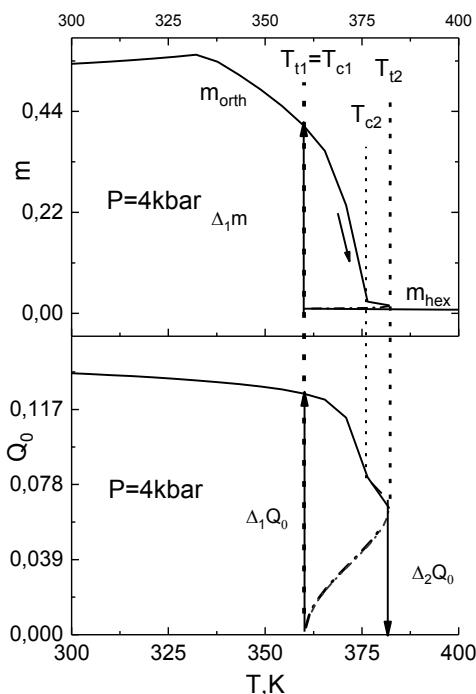


Рис. 2. Температурные зависимости параметров магнитного ( $m$ ) и структурного ( $Q_0$ ) порядков

Подобное, нетривиальное поведение намагниченности можно теоретически объяснить в рамках модели мягкой моды для структурного перехода типа смещения [3]. Результаты численного анализа температурных зависимостей магнитного и структурного параметров порядка, полученные в рамках модели для двух характерных давлений, представлены на рис.2. Они показывают, что указанная особенность магнитного поведения, связанная с началом (завершением) процессов магнитного упорядочения (разупорядочения), обусловлена существенным смещением температур лабильности гексагонального ( $T_{11}^H$ ) и ромбического ( $T_{21}^H$ ) состояний в магнитном поле за пределы спонтанных температур лабильности  $T_{11}^0, T_{21}^0$  этих состояний. Скачок намагниченности

$\Delta_1 m$  в этом случае связан с различием величин  $m_{orth}(T)$  и  $m_{hex}(T)$  в ромбической и гексагональной фазах при одной и той же температуре за пределами температур лабильности  $T_{t1}^0, T_{t2}^0$ . Для возникновения подобной аномалии условная температура Кюри –  $T_c$  (при которой снижение намагниченности достигает до 90%) должна удовлетворять неравенству  $T_{t1}^0(P) < T(P)_c < T_{t2}^0(P)$ . В этом случае понижение температуры до  $T = T_{t1}$  приводит к магнитоструктурному переходу 1-го рода  $PM(hex) \rightarrow FM(orth)$ , который сопровождается существенным скачком намагниченности  $\Delta_1 m$ , вполне сопоставимым с ее максимальным значением (рис 1, б и рис 3, б). Обратное повышение температуры при этом приводит к плавному изоструктурному снижению намагниченности в пределах ромбического состояния.

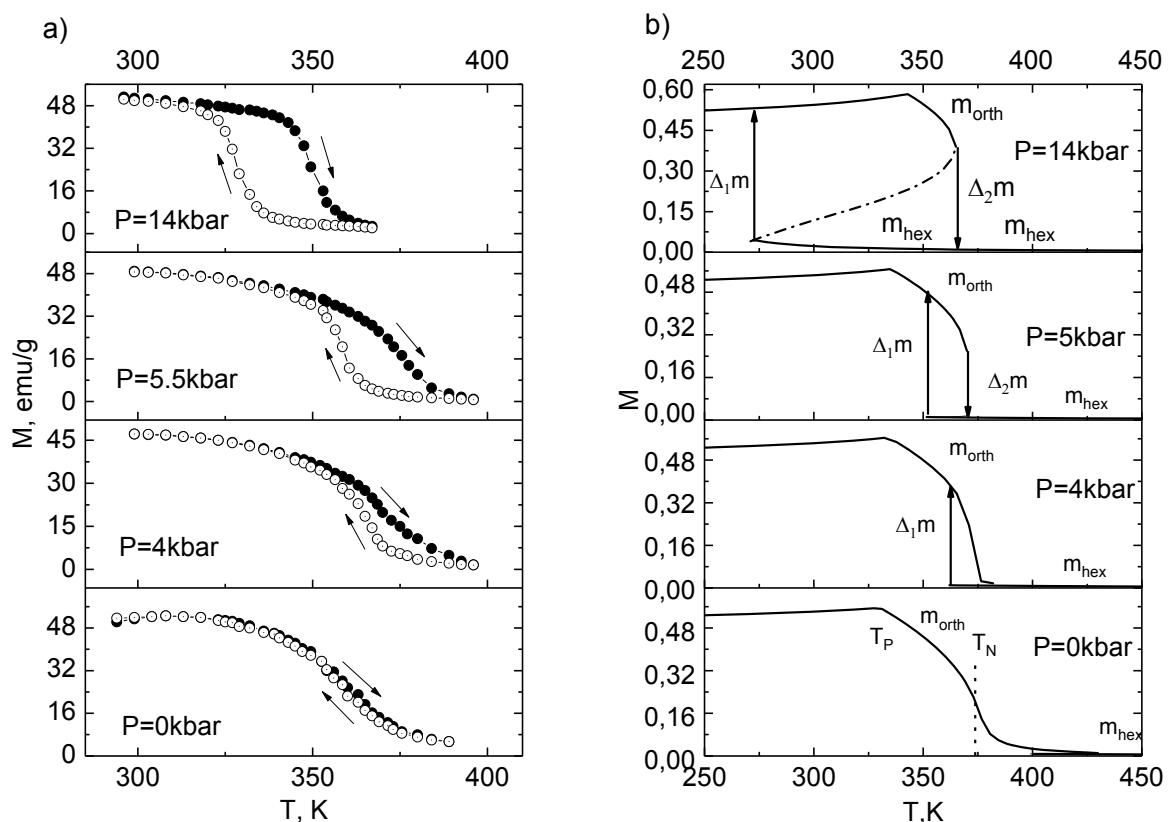


Рис. 3. Сравнение экспериментальных (а) и теоретических (б) зависимостей  $M(T)$  в поле  $B=0.97T$  для образца  $Mn_{0.89}Cr_{0.11}NiGe$

## Список литературы

1. H.Fjellvag, A.F. Andresen. J. Magn. Magn. Mater. 50, 291 (1985).
2. И.Ф. Грибанов, А.П. Сиваченко и др. ФТВД 23, № 3, 15-22 (2013).
3. В.И. Вальков, А.В. Головчан и др. ФТВД, будет опубликовано.

## ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ТОНКИХ ПЛЕНОК СОДЕРЖАЩИХ АЛЮМИНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАСПЫЛЕНИЯ

*Ивахненко Н.Н.<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, Бадекин М.Ю.<sup>2</sup>*

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

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

Тонкие пленки алюминия используются в качестве сеток металлизации в микроэлектронных системах и обратных контактов тонких солнечных элементов. Их применение (в виде чистого Al) в электрических и солнечных элементах ограничено микроструктурными дефектами, такими как поры, бугорки и оксиды. Бугорки являются наиболее вредными дефектами для электрических приложений, поскольку они усиливают электромиграцию в этих пленках [1-3]. Они проявляются в виде крупных зерен, в которые перерастают все другие дефекты поверхности и относятся к различным явлениям, включая тепловое напряжение, окисление, электромиграцию и внешнее напряжение. Бугорки возникают когда существует большое несоответствие между тепловым расширением пленок Al и неметаллических подложек, таких как стекло, кремний и полимеры. С помощью СЭМ – изображений включение Ni в алюминиевые тонкие пленки показало уменьшение образования бугорков. Аналогичный метод был использован для изучения влияния толщины покрытия на давление бугорков в пленках Al [4-5]. Из-за важности этих структур в исполнении Al, методы количественного определения представляют интерес.

Целью данной работы является демонстрация использования монофрактального и мультифрактального анализа при изучении эволюционных бугорков в тонких пленках Al, нанесенных на стеклянные подложки путем распыления при различной низкой температуре подложки (Ts). Анализируемые в этой работе бугорки объясняются окислением и несоответствием тепловых свойств между подложкой и металлизационными пленками. Структуры бугорков были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) и проведен их фрактальный анализ. Поведение бугорков при нормальных нагрузках на вдавливание также было оценено и установлена связь между фрактальным поведением и механическими свойствами.

Тонкие пленки алюминия наносились на стеклянные подложки методом высокочастотного магнетронного распыления при различных низких температурах подложки: 55 °C, 65 °C и 95 °C в течение постоянного времени 2 часа, мощность высокочастотного излучения поддерживалась на уровне 350Вт. Перед напылением стеклянные

предметные стекла промывали в дистиллированной воде, а затем в ацетоне и сушили под высоким давлением и горячим воздухом. Алюминиевая мишень высокой чистоты (99,99%) была установлена на расстоянии 130мм от держателей образцов. Поверхность подложек деионизировали плазмой аргона путем предварительного распыления в течение 10 минут перед осаждением.

После осаждения образцы оставляли медленно остывать в вакуумной камере на 3 часа. Для наблюдения и изучения бугорки в этих образцах поверхности были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа. Для распознавания и анализа бугорков использовался метод обработки изображений. Толщины пленок определялись с помощью трехмерного оптического профилировщика.

В работе представлен монофрактальный и мультифрактальный анализ бугорков в тонких пленках Al, нанесенных на стеклянные подложки. С помощью этих подходов можно сделать следующие выводы:

На формирование бугорка влияет низкое изменение температуры подложки во время магнетронного распыления. Наименьший размер бугорков (площадь и периметр) наблюдался при 95°C, а самый большой – при температуре подложки 65°C. Были определены фрактальные размеры. Во всех случаях значения размеров увеличивались с ростом температуры подложки, указывая на то, что сложность, рост и взаимосвязь поверхностных структур над бугорками от 55°C до 95°C. Значения ширины мультифрактальных спектров были получены как 1,10, 1,03 и 0,96, что указывает на боковой рост поверхности.

## Список литературы

1. Божокин С.В. Фракталы и мультифракталы / С.В.Божокин, Д.А.Паршин. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 128 с.
2. Акишев Ю.С. Структура поверхностных стримеров барьерной короны переменного тока в аргоне / Ю.С.Акишев, Г.И.Апонин, В.Б.Каральник и др. // Физика плазмы. – 2004. – Т. 30. – № 12. – С. 1088–1104.
3. Антипов О.И. Детерминированный хаос и фракталы в дискретно-нелинейных системах / О.И.Антипов, В.А.Неганов, А.А.Потапов // Под ред. и с предисловием акад. Ю.В. Гуляева и чл.-корр. РАН С.А. Никитова. – М.: Радиотехника, 2009. – 235 с.
4. Архинчев В.Е. Кинетические явления в неоднородных средах. – Автореф. дисс. доктора физ. – мат. наук. Иркутск. ИГУ, 2002. 31 с.
5. Ашурев Х.Б. Моделирование роста фрактального кластера на подложке при ионном облучении / Х.Б.Ашурев, С.Е.Максимов, Б.Л. Оксенгендлер и др. // Поверхность. – 2011. – № 6. – С. 89-92.

## МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛАХ В ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ ДО 50 ТЛ

**Каманцев А.П., Кошикдько Ю.С.**, канд. физ.-мат. наук,

**Коледов В.В.**, д-р физ.-мат. наук

ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова» РАН,

г. Москва, РФ

*kaman4@gmail.com*

Растущий интерес к исследованию магнитных материалов с фазовым переходом (ФП) 1-го рода связан не только с наблюдаемой в них сильной взаимосвязи магнитной, структурной и электронной подсистем, но и возможностями практического применения эффектов возникающих в результате этих взаимодействий. К наиболее перспективным примерам таких явлений можно отнести гигантский магнитокалорический эффект (МКЭ) [1] и эффект колоссального магнитосопротивления [2].

Измерения МКЭ в сильных импульсных магнитных полях до 50 Тл при помощи тонких термопар (толщина одного провода-25 мкм, измерительного конца-40 мкм) типа Т (медь-константан) проводились в Лаборатории сильных магнитных полей Центра им. Гельмгольца Дрезден-Россendorf, г. Дрезден, Германия (ЦГДР). Термопара зажималась между двумя частями образца для оптимизации теплового контакта и уменьшения потерь тепла. Начальная температура устанавливалась при помощи местного нагревателя. Для контроля начальной температуры использовался резистивный термометр Cernox. Данная методика измерений разработана в ЦГДР и подробно описана в [3]. В данной работе представлены результаты исследования свойств перспективных магнитокалорических сплавов  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{0,74}\text{Cu}_{0,26}\text{Ga}$  и  $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$ , фактический состав образцов был подтвержден методом EDX-анализа.

Слиток сплава  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{0,74}\text{Cu}_{0,26}\text{Ga}$  был получен методом дуговой плавки в атмосфере аргона. Из слитка методом направленного отвердевания был выращен текстурированный поликристаллический стержень (с заданной скоростью роста кристалла 150 мкм/сек). Из стержня вырезались образцы размером  $5 \times 5 \times 2$  мм<sup>3</sup>, которые в дальнейшем подвергались гомогенизационному отжигу при 1073 К в течение 24 часов в вакууме, а затем закалялись в ледяной воде. Температуры ФП определялись с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК):  $Ms = 309$  К,  $Mf = 302$  К,  $As = 316$  К,  $Af = 323$  К (рис. 1а), при этом скрытая теплота ФП при нагреве составляет  $\lambda_h = 7000$  Дж/кг, а при охлаждении  $\lambda_c = 7200$  Дж/кг. Для анализа магнитных свойств использовался вибрационный магнитометр Lakeshore 7400 VSM. Мартенситный ФП в данном сплаве совпадает с точкой Кюри, поэтому мы наблюдаем ФП из ФМ мартенситной в ПМ аустенитную фазу (рис. 1а).

Слиток  $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$  был получен методом индукционной плавки в атмосфере аргона. Из слитка были вырезаны диски диаметром 5 мм и толщиной 1 мм. Образцы для исследований отжигались в предварительно откаченной кварцевой ампуле ( $\sim 1$  Па) при температуре 1273 К в течение 72 часов с последующей закалкой в ледяную воду. Анализ полученных кривых ДСК позволил определить температуры начала и конца прямого перехода из ФМ в АФМ состояния:  $A_S = 317$  К,  $A_F = 308$  К и обратного АФМ-ФМ:  $F_S = 321$  К,  $F_F = 330$  К, что с точностью в 1 К согласуется с кривой намагниченности в слабом магнитном поле 1 мТл (рис. 1б). Скрытая теплота ФП в  $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$  составила при охлаждении  $\lambda_C = 4300$  Дж/кг, а при нагревании  $\lambda_H = 4400$  Дж/кг.

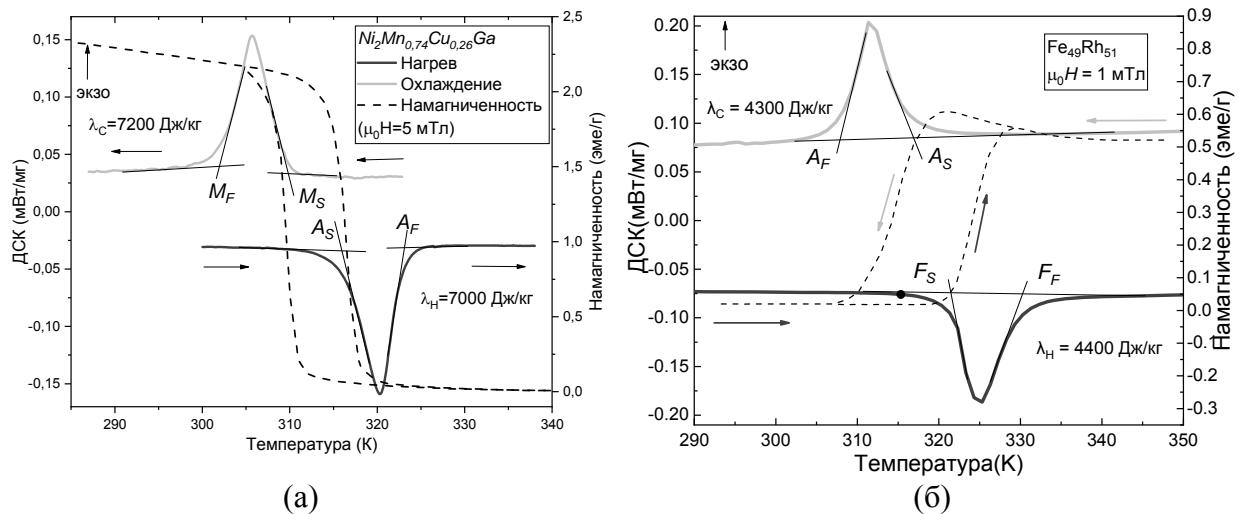


Рис. 1. Результаты ДСК и температурная зависимость низкополевой намагниченности для сплавов (а)  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{0.74}\text{Cu}_{0.26}\text{Ga}$  и (б)  $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$ . Методом экстраполяции определены температуры начала прямого и обратного ФП

Максимальный измеренный  $\Delta T$ -эффект в сплаве Гейслера  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{0.74}\text{Cu}_{0.26}\text{Ga}$  в импульсном магнитном поле 50 Тл при  $T_0 = 309$  К, составляет  $\Delta T = 20,5$  К (рис. 2а). Анализ измерений МКЭ в сильных импульсных магнитных полях позволяет судить о взаимодействии структурной и магнитной подсистем исследуемого образца. По теории Ландау вблизи точки Кюри  $\Delta T \sim H^{2/3}$  [4], построение полученных данных в таких координатах позволит определить, что в сплаве  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{0.74}\text{Cu}_{0.26}\text{Ga}$  при  $T_0 = 313$  К ФП из аустенита в мартенсит завершается в магнитном поле  $\mu_0 H_{kp1} = 23$  Тл, а обратный ФП завершается в поле  $\mu_0 H_{kp2} = 8$  Тл (рис. 3а).

Магнитополевые зависимости адиабатического изменения температуры для  $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$  при разных начальных температурах приведены на рис 3б, конкретно рассмотрим кривую № 4 ( $T_0 = 310$  К). С ростом магнитного поля до 22 Тл наблюдается снижение температуры образца на  $\Delta T = -8.5$  К, т.е. наблюдается обратный МКЭ. При дальнейшем росте поля от 22 Тл до 50 Тл температура образца возрастает примерно на 1 К, т.е. наблюдается прямой МКЭ, что свидетельствует о полном переходе

образца из АФМ в ФМ фазу. При снижении поля от 50 Тл до 6.5 Тл образец охлаждается, что соответствует прямому МКЭ, при этом в магнитном поле 6.5 Тл обнаружен максимум абсолютного значения адиабатического измерения температуры  $|\Delta T| = 9.8$  К (рис. 3б). При дальнейшем снижении магнитного от 6.5 Тл до 0 Тл наблюдается нагрев образца, что соответствует обратному МКЭ.

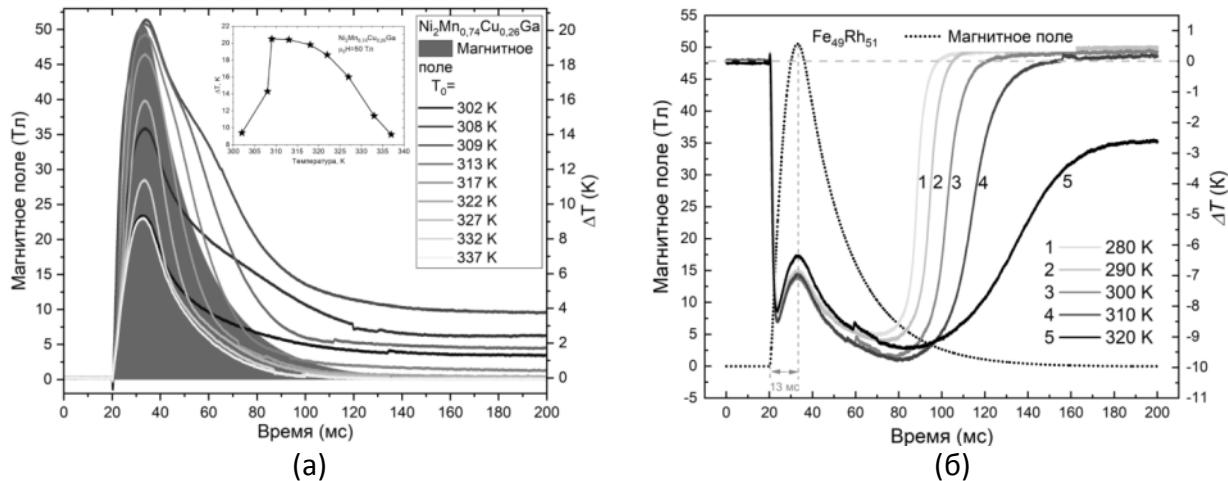


Рис. 2. Временная зависимость изменения внешнего магнитного поля (левая шкала) и соответствующее адиабатическое изменение температуры  $\Delta T$  (правая шкала) при разных начальных температурах для образцов (а)  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{0.74}\text{Cu}_{0.26}\text{Ga}$  и (б)  $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$ . Во врезке на рисунке (а) зависимость  $\Delta T$  от начальной температуры в поле 50 Тл в образце  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{0.74}\text{Cu}_{0.26}\text{Ga}$

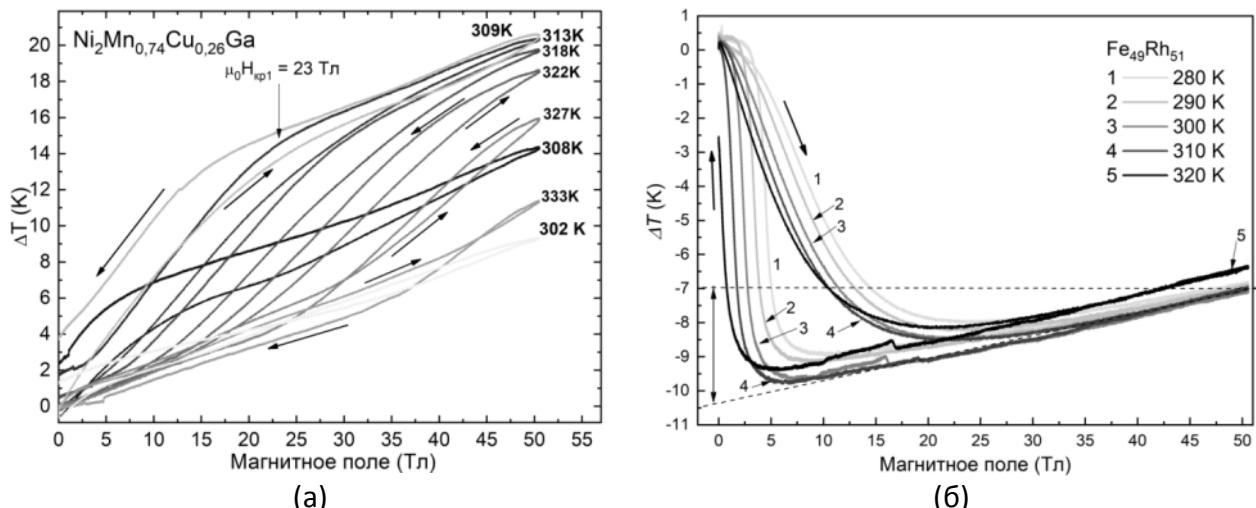


Рис. 3. Адиабатическое изменение температуры  $\Delta T$  образцов (а)  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{0.74}\text{Cu}_{0.26}\text{Ga}$  и (б)  $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$  в зависимости от магнитного поля при разных начальных температурах вблизи ФП 1-го рода

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 18-07-01320.

## Список литературы

1. Lyubina J. Magnetocaloric materials for energy efficient cooling / J.Lyubina //Journal of Physics D: Applied Physics. – 2017. – Т. 50. – №. 5. – С. 053002.

2. Ramirez A.P. Colossal magnetoresistance / A.P. Ramirez // Journal of Physics: Condensed Matter. – 1997. – Т. 9. – №. 39. – С. 8171.
3. Ghorbani Zavareh M. et al. Direct measurements of the magnetocaloric effect in pulsed magnetic fields: The example of the Heusler alloy Ni50Mn35In15 / Ghorbani Zavareh M. et al. //Applied Physics Letters. – 2015. – Т. 106. – №. 7. – С. 071904.
4. Tishin A.M. Magnetocaloric effect in the vicinity of phase transitions / A.M.Tishin // Handbook of magnetic materials. – 1999. – Т. 12. – С. 395-524.

УДК 538.9. 54.02. 548

## **АНСАМБЛИ ОКСИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ. ОТ СИНТЕЗА НАНОПОРОШКОВ К СОЗДАНИЮ КЕРАМИКИ**

**Константинова Т.Е., д-р физ.-мат. наук, профессор, Лоладзе Л.В.,  
Носолев И.К., Ткаченко А.М., Брюханова И.И., Головань Г.Н.**

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
*alta7@ukr.net*

Создание порошковых материалов для получения тонкой технической керамики в настоящее время требует особых подходов, которые способны привносить в них новые полезные качества. Развитие современных технологий сегодня идет колоссальными темпами и безусловно требует нового осмысливания всех составляющих элементов в создании данных материалов. Процесс образования высококачественного порошкового материала, как правило, начинается с самоорганизации атомов при совместном осаждении исходных компонентов с последующим использованием процессов высушивания и измельчения, в результате чего в порошке формируется достаточно однородная порошковая субстанция заданного состава и дисперсности. Образование наночастиц при синтезе и можно рассматривать как самосборку. Применительно к наночастицам принято рассматривать их как ансамбли частиц контролируемого размера и формы. Образование ансамблей наночастиц обусловлено взаимодействием поверхностных атомов частиц, а взаимодействие ансамблей наночастиц переводит всю систему на мезоуровень. Среди получаемых порошков особый интерес представляют частицыnanoуровня, т.е. состоящие из несколько сотен атомов, находящиеся в постоянном взаимодействии. Дальнейшее подключение внешних воздействий, в частности, температуры и или давления, включает организацию новых объектов через формирование новых элементов структуры и в том числе роста зерен, объединение которых впоследствии позволяет получить монолитный керамический материала. В последние годы в среде материаловедов, работающих в области новых технологий, возник особый интерес к использованию наночастиц для создания новых материалов. Образование ансамблей наночастиц обусловлено межчастичным взаимо-

действием поверхностных атомов и определяет формирование материалов на мезоуровне. Созданные представления о поведении ансамблей наночастиц позволяют использовать их для разработки новых технологий получения нанопорошков и керамики.

УДК 533.922, 533.924, 538.958, 538.975, 539.25, 539.234

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПЛЁНОК НИТРИДА УГЛЕРОДА, ЛЕГИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ЕВРОПИЯ

*Лихтенштейн И.Я.<sup>1</sup>, Шемченко Е.И.<sup>1</sup>,  
Петренко А.Г.<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор*

<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

*liechtenstein\_igor@mail.ru, shemal@mail.ru*

Широкое разнообразие аллотропных форм углерода позволяет получать на его основе новые материалы с наперед заданными свойствами, которые могут быть обусловлены как особенностями химических элементов, так и свойствами, связанными с размерностью структуры. Особый интерес представляют алмазоподобные плёночные структуры, легированные атомами редкоземельных металлов, поскольку они сочетают в себе полупроводниковые свойства углеродных материалов и оптические свойства, характерные для лантаноидов. Такие композитные плёнки могут найти широкое применение, например, в оптоэлектронике в качестве компонентов фото- и электролюминесцентных, светопреобразующих устройств. Кроме того, возможно создание на их основе законченного вычислительного комплекса «источник фотонов – набор квантовых точек», который может быть использован для создания элементов квантового компьютера [1, 2].

В данной работе исследованы некоторые особенности морфологии поверхности  $CN_x:Eu_yO_z$  плёнок, полученных при различных параметрах работы магнетрона постоянного тока. Установлено, что  $CN_x:Eu_yO_z$  плёнки при малых величинах тока и напряжения магнетрона растут в виде плотноупакованных нанотрубок и наноколонн, не влияющих друг на друга в процессе роста, а при больших величинах указанных параметров растут в виде плотноупакованных пучков наноколонн как самостоятельных субъединиц структуры пленки. Также в системе «магнетрон–подложка–подложкодержатель» при малых значениях тока и напряжения магнетрона в плазме могут возникать собственные электромагнитные колебания, модулирующие плотность распыляемого потока вещества мишени, что приводит к появлению регулярной структуры в  $CN_x:Eu_yO_z$  плёнках.

АСМ-изображения  $\text{CN}_x\text{:Eu}_y\text{O}_z$  плёнок были получены с помощью зондовой лаборатории NTEGRA Aura (рис. 1). Обработку и анализ АСМ-изображений осуществляли в программном пакете «Image Analysis 3.5.0.16814», который выделяет по заранее заданным параметрам неоднородности на поверхности образца – зёरна, являющиеся частями нанотрубок и наноколонн, выступающих над сплошной поверхностью плёнки. Эффективный диаметр зёрен определялся как диаметр окружности, площадь которой равна площади сечения частиц (рис. 2а). Высота зёрен рассчитывалась относительно общего нулевого уровня, т.е. базовой поверхности, ниже которой лежит сплошной слой плотноупакованных нанотрубок и наноколонн (рис. 2б).

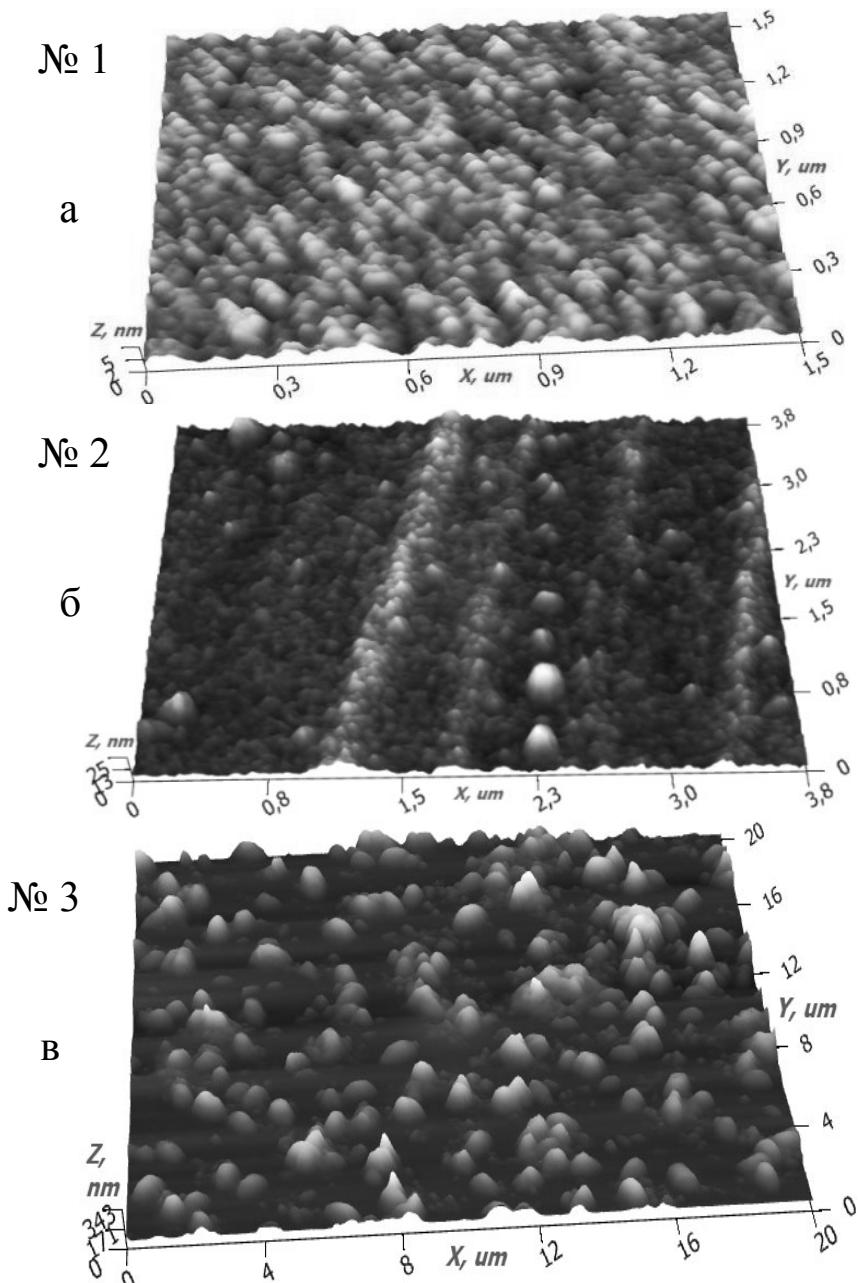


Рис. 1. АСМ-изображения образцов № 1, № 2 и № 3

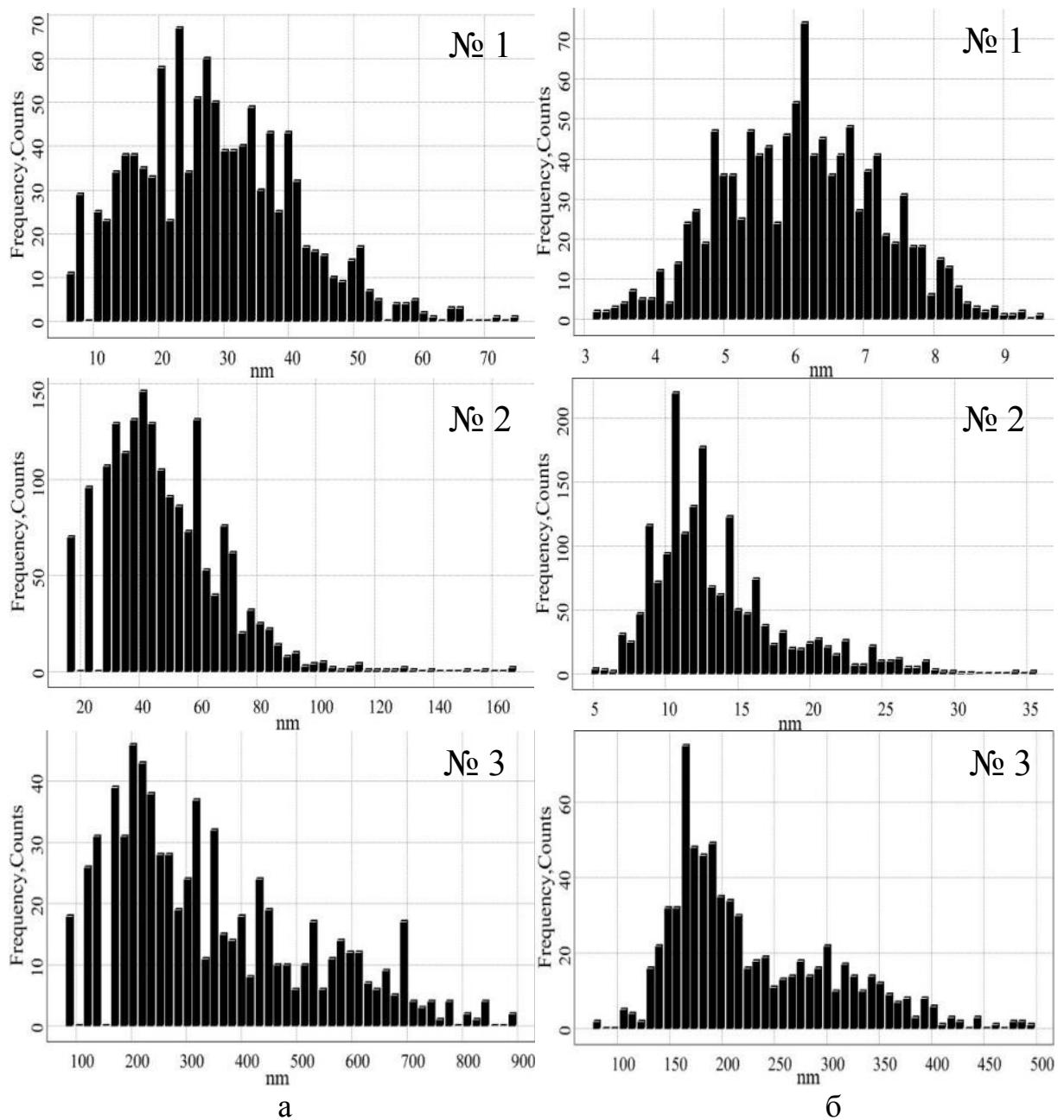


Рис. 2. Гистограммы распределения исследованных величин образцов № 1, № 2 и № 3:  
а – распределения зёрен по диаметру; б – распределения зёрен по высоте

### Список литературы

1. Шемченко Е.И. Особенности полученияnanoструктурных пленок  $CN_x:Eu_yO_z$  методом магнетронного напыления, полученных на магнетроне постоянного тока // Е.И.Шемченко, И.Я.Лихтенштейн / Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля, 2019. – №7 (25). – С. 139-142.
2. Шемченко Е.И. Некоторые особенности морфологии поверхности nanoструктурных пленок нитрида углерода, легированных оксидом европия // Е.И.Шемченко, А.Г.Петренко, И.Я.Лихтенштейн / ФТВД, 2019. – Т. 29, №2. – С. 90-98.

## **ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЦЕСС СПЕКАНИЯ НАНОПОРОШКОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Лоладзе Л.В., Носолев И.К., Ткаченко А.М., Брюханова И.И,  
Головань Г.Н., Константинова Т.Е., д-р физ.-мат. наук, профессор  
ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
alta7@ukr.net*

Материалы на основе диоксида циркония имеют большую привлекательность в качестве перспективной матричной основы для разработки керамических материалов нового поколения.

Поскольку спекание является одним из наиболее важных технологических процессов получения керамики из нанопорошков, играющего существенную роль в формировании конечных свойств получаемых материалов, помимо исследования влияния различных легирующих элементов немаловажную роль в формировании структурно-фазового состояния и механических свойств играет выбор оптимальных режимов спекания.

Получение исходных нанопорошков осуществляли методом совместного осаждения из реагентов оксихлорида циркония ( $ZrOCl_2 \cdot nH_2O$ ), оксида иттрия ( $Y_2O_3$ ), выполняющего роль стабилизатора,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  в качестве легирующих добавок и 25 % водного раствора аммиака как осадителя (квалификация реактивов «х.ч.»). Порошки для исследований были синтезированы в ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» [I], для оценки качества полученных порошков был применен метод БЭТ, предложенный Брунауэром, Эмметом и Тейлором, который дает возможность оценить площадь поверхности исследуемого порошка и, следовательно, оценить величину зерна, от которой напрямую зависит качество спекаемой керамики.

Образцы для спекания получали методом одноосного прессования в форме балочек с последующим гидростатическим обжатием при 3 килобарах. Образец перед спеканием представляет собой рыхлую, сильно неравновесную систему, которой свойственны концентрационная неоднородность, дефекты кристаллической решетки прочие дефекты. С этой точки зрения спекание можно определить как кинетический процесс освобождения дисперсной системы от присущих в ней дефектов, поскольку протекание процесса спекания обусловлено стремлением системы к равновесному (с меньшей энергией) состоянию.

Методом дилатометрии на электронном дилатометре DIL-402 PC/4 (1600°C) фирмы «Netzch» исследованы кинетические закономерности начальной стадии спекания керамики на основе

$\text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3$ ) с добавлением легирующих оксидов  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  (1–5 вес.%) из ультрадисперсных порошков. Интенсивность процессов спекания отслеживалась на кривых спекания по линейной усадке ( $\text{dL/L}$ ) образцов, которая дает полезную информацию о кинетике спекания.

Из рис.1 видно, что введение в нанопорошковую систему  $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3$  легирующей добавки оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) в количестве 2 масс% приводит не только к значительному ускорению усадки ( $\text{dL/L}$ ) исследуемого образца, но и к большей величине усадки по сравнению с концентрациями 1, 3, 5 %, что влечет за собой получение керамики с большей плотностью и меньшей пористостью.

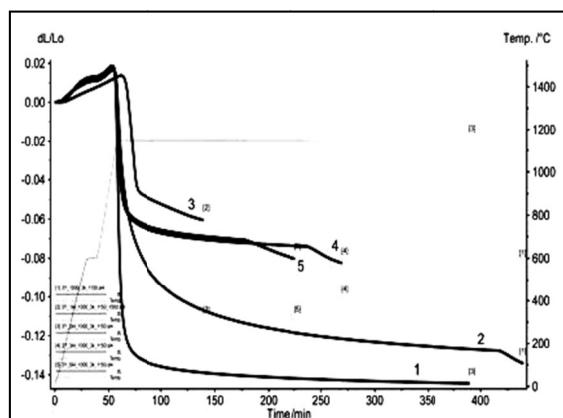


Рис. 1. Дилатометрические кривые спекания нанопорошков системы  $\text{ZrO}_2 + 3\% \text{Y}_2\text{O}_3$  без и с добавлением легирующих оксидов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :  
1-  $\text{ZrO}_2 - 3\% \text{Y}_2\text{O}_3 + 2\% \text{Al}_2\text{O}_3$ ; 2-  $\text{ZrO}_2 - 3\% \text{Y}_2\text{O}_3$ ; 3-  $\text{ZrO}_2 - 3\% \text{Y}_2\text{O}_3 + 1\% \text{Al}_2\text{O}_3$ ;  
4-  $\text{ZrO}_2 - 3\% \text{Y}_2\text{O}_3 + 3\% \text{Al}_2\text{O}_3$ ; 5-  $\text{ZrO}_2 - 3\% \text{Y}_2\text{O}_3 + 5\% \text{Al}_2\text{O}_3$

На рисунке 2 приведены дилатометрические кривые спекания нанопорошков системы  $\text{ZrO}_2 - 3\% \text{Y}_2\text{O}_3$  с легирующей добавкой  $\text{SiO}_2$  в количестве 1, 2 и 3 вес%. Видно, что введение 1%  $\text{SiO}_2$  благоприятно влияет на процесс спекания по сравнению с 2 и 3%, о чем свидетельствует величина усадки, которая значительно превосходит усадку образцов при спекании в тех же температурных режимах, что и образцы с 2 и 3%  $\text{SiO}_2$ .

Показано, что в режиме нагрева до  $1150^{\circ}\text{C}$  спекание керамики из исследуемых нанопорошков проходит по разному в зависимости от вида легирующих добавок и их концентраций, что тесно связано с влиянием каждой из добавок на процесс спекания нанопорошков.

Определены оптимальные концентрации оксидов легирующих элементов с наиболее ярко выраженным проявлением их влияния на процесс спекания, о чем свидетельствуют дилатометрические кривые, приведенные на рис. 3.

Таким образом, в работе показана роль легирующих элементов, как одного из основных факторов оптимизации процесса спекания при получении керамики.

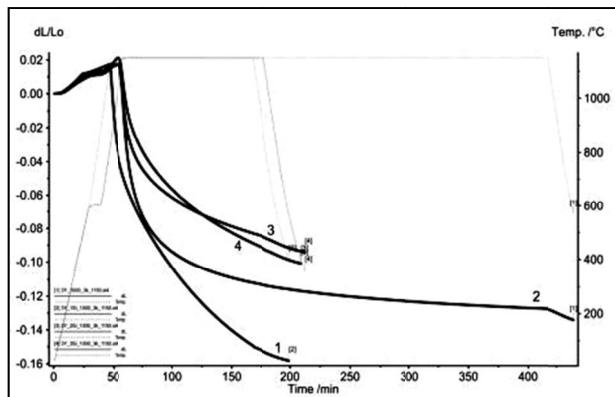


Рис. 2. Дилатометрические кривые спекания нанопорошков системы  $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}_2\text{O}_3$  без и с добавлением легирующих оксидов  $\text{SiO}_2$ :

1-  $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}_2\text{O}_3 + 1\% \text{SiO}_2$ ; 2-  $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}_2\text{O}_3$ ;  
 3-  $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}_2\text{O}_3 + 2\% \text{SiO}_2$ ; 4-  $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}_2\text{O}_3 + 3\% \text{SiO}_2$

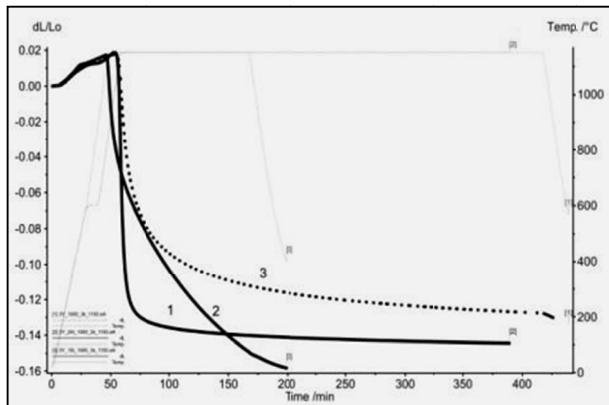


Рис. 3. Дилатометрические кривые спекания нанопорошков системы  $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}_2\text{O}_3$  без добавок и с легирующими добавками  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  с изотермической выдержкой при  $1150^0\text{C}$ : 1- $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}_2\text{O}_3 + 1\% \text{SiO}_2$ ;  
 2-  $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}_2\text{O}_3 + 2\% \text{Al}_2\text{O}_3$ ; 3-  $\text{ZrO}_2\text{-}3\%\text{Y}$

## Список литературы

1. Danilenko I., Nanoscale Research Letters / I.Danilenko, T.Konstantinova, G.Volkova. – 2016. – №11. – P. 238-244.

## КОНЦЕНТРАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

**Малащенко В.В.**<sup>1,3</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор, **Малащенко Т.И.**<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 технический университет», г. Донецк, ДНР

<sup>3</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*malashenko@donfti.ru*

**Введение.** Лазерные технологии являются весьма эффективным и перспективным средством обработки различных материалов и улучшения их свойств, в том числе механических. Двухкомпонентные сплавы – весьма важный класс функциональных материалов, широко использующихся в различных отраслях промышленности. В результате воздействия мощных лазерных импульсов реализуется надбарьерное преодоление дислокациями потенциальных барьеров, т.е. динамический режим скольжения. Динамическое взаимодействие дислокаций с неподвижными кристаллическими дефектами оказывает существенное влияние на формирование механических свойств кристаллов в условиях высокоэнергетических воздействий и чаще всего описывается методом молекулярной динамики [1–4]. Этот метод является весьма эффективным и универсальным, однако не позволяет получить аналитические зависимости механических свойств материалов от их структурных характеристик, в частности, от концентрации второго компонента в двухкомпонентных сплавах. Получать такие аналитические зависимости для широкого круга задач дислокационной динамики позволяет развитая нами теория динамического взаимодействия структурных дефектов [5–8].

**Целью** настоящей работы является получение аналитической зависимости динамического предела текучести двухкомпонентного сплава от концентрации второго компонента в условиях лазерного облучения высокой мощности.

**Основная часть.** Механизм диссипации при надбарьерном скольжении дислокаций заключается в необратимом переходе кинетической энергии поступательного движения дислокации в энергию ее изгибных колебаний в плоскости скольжения, которые возникают при взаимодействии дислокаций с зонами Гинье-Престона и атомами меди. При этом скорость движения дислокаций может составлять десятки, сотни и даже тысячи метров в секунду. Как следует из теории динамического взаимодействия дислокаций со структурными дефектами, динамика дислокаций при таком механизме диссипации зависит от вида спектра дислокационных колебаний, в первую очередь от наличия щели в

дислокационном спектре. Главную роль в рассматриваемой задаче играют коллективное взаимодействие растворенных атомов с дислокацией и коллективное взаимодействие остальных дислокаций ансамбля с этой дислокацией. Конкуренция этих взаимодействий определяет и формирование спектральной щели, и величину силы динамического торможения дислокаций. Сила этих взаимодействий зависит главным образом от концентрации растворенных атомов и плотности дислокаций. В настоящей работе рассмотрен как случай доминирующего влияния точечных дефектов на формирование спектральной щели, так и случай доминирования влияния дислокаций ансамбля.

Пусть бесконечная краевая дислокация совершает скольжение под действием постоянного внешнего напряжения  $\sigma_0$  в положительном направлении оси  $OX$  с постоянной скоростью  $v$  в плоскости  $XOZ$ . Кристалл содержит хаотически распределенные точечные дефекты и зоны Гинье-Престона. Зоны Гинье-Престона будем считать одинаковыми, имеющими радиус  $R$  и распределенными случайным образом в плоскостях параллельных плоскости скольжения дислокации  $XOZ$ .

Линии дислокаций параллельны оси  $OZ$ , их векторы Бюргерса  $\mathbf{b} = (b, 0, 0)$  одинаковы и параллельны оси  $OX$ . Положение  $k$ -ой дислокации определяется функцией

$$X_k = vt + w_k \quad (1)$$

Здесь  $w_k$  – случайная величина, описывающая изгибные колебания дислокации, возбужденные ее взаимодействием с хаотически распределенными дефектами. Среднее значение этой величины по длине дислокации и по хаотическому распределению дефектов равно нулю. Полная сила торможения дислокации будет равна

$$F = F_G + F_d + Bv \quad (2)$$

Здесь  $F_G$  – сила торможения дислокации зонами Гинье-Престона,  $F_d$  – сила торможения, обусловленная взаимодействием дислокации с атомами второго компонента,  $Bv$  – фононное торможение. Выражения для этих сил получим в рамках теории динамического взаимодействия структурных дефектов.

В рассматриваемом нами случае коллективное взаимодействие структурных дефектов приводит к возникновению щели в спектре дислокационных колебаний, который в результате примет следующий вид

$$\omega^2(q_z) = c^2 q_z^2 + \Delta^2 \quad (3)$$

Если коллективное взаимодействие атомов второго компонента с данной дислокацией превосходит величину взаимодействия с ней остальных дислокаций ансамбля, то щель  $\Delta$  в колебательном спектре описывается формулой

$$\Delta = \Delta_d = \frac{c}{b} \left( n_d \chi^2 \right)^{1/4}, \quad (4)$$

где  $n_d$  – безразмерная концентрация атомов второго компонента,  $\chi$  – параметр их размерного несоответствия.

Если же доминирующим окажется взаимодействие движущихся дислокаций ансамбля с данной дислокацией, то щель будет иметь следующий вид

$$\Delta_{dis} = \pi b \sqrt{\frac{\mu \rho}{6\pi m(1-\gamma)}} \quad (5)$$

где  $\rho$  – плотность подвижных дислокаций,  $\mu$  – модуль сдвига,  $\gamma$  – коэффициент Пуассона.

Динамический предел текучести бинарного сплава в рассматриваемой нами задаче оказывается немонотонной функцией концентрации атомов второго компонента, которая при определенных условиях становится  $N$ -образной, т.е. может иметь минимум и максимум.

**Заключение.** Полученные результаты могут быть использованы для анализа физических процессов в бинарных сплавах под влиянием мощного лазерного излучения.

### Список литературы

1. 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.
2. Lee J. High strain rate deformation of layered nanocomposites / J. Lee, D. Veyset, J. Singer, M. Retsch, G. Saini, T. Pezeril , K. Nelson, E. Thomas // Nature Communications. – 2012. – No. 3. – P.1164.
3. Smith R. F. High strain-rate plastic flow in Al and Fe Collins / R.F. Smith, J.H.Eggert, R.E. Rudd, D.C. Swift, C.A. Bolme // Journal of Applied Physics.-2011. –V. 110. – P.123515(1-11).
4. 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.
5. Malashenko V.V. Dynamic drag of dislocation by point defects in near-surface crystal layer / V.V. Malashenko // Modern Phys. Lett. B. – 2009. – Vol. 23, № 16. – P. 2041–2047.
6. Malashenko V.V. The effect of Guinier–Preston zones on the dynamic yield stress of alloys under the shock-wave load / V.V. Malashenko // Technical Physics. – 2017. – V.62. – № 5. – P. 810-811.
7. Malashenko V.V. Dynamic drag of edge dislocation by circular prismatic loops and point defects / V.V. Malashenko // Physica B: Phys. Cond. Mat.- 2009. -V. 404, № 2.- P. 3890–3892.
8. 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.

**МАГНИТНЫЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
КОМПОЗИЦИОННОГО МУЛЬТИФЕРРОИКА  
(1 – x)BiFeO<sub>3</sub> – xScMnO<sub>3</sub>.**

**Михайлов В.И.<sup>1</sup>**, канд. физ.-мат. наук, **Кравченко З.Ф.<sup>1</sup>**, **Легенъкий Ю.А.<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

*mikhaylov55@gmail.com*

**Введение.** В последние годы появилось много работ по системам твердых растворов на основе BiFeO<sub>3</sub> [1-3]. Интерес к данной тематике обусловлен с одной стороны фундаментальными свойствами мультиферроиков, с другой стороны ожидаются практические применения, такие как сенсорная техника, спинtronика, логические устройства .

В пленке BiFeO<sub>3</sub> вдоль оси [111]  $P \sim 90 \text{ } \mu\text{C/cm}^2$ , а в ScMnO<sub>3</sub> ( $T_{\text{FE}} \sim 914 \text{ K}$ ,  $T_N \sim 90 \text{ K}$ ), а  $P \sim 6 \text{ } \mu\text{C/cm}^2$ . По литературным данным, связь между магнетизмом и сегнетоэлектричеством в этих материалах довольно слабая.

Нами исследовались системы твердых растворов, которые в качестве вторых компонентов к BiFeO<sub>3</sub> содержат гексагональные манганиты hex-RMnO<sub>3</sub>. Структурные изменения в твердых растворах BiFeO<sub>3</sub> – YMnO<sub>3</sub> достаточно подробно описаны в работе [2], а магнитные и диэлектрические свойства этих твердых растворов в [3]. Для твердых растворов BiFeO<sub>3</sub> – ScMnO<sub>3</sub> данных значительно меньше.

В настоящей работе проведены исследования магнитных и диэлектрических свойств системы твердых растворов (керамик) состава (1-x)BiFeO<sub>3</sub> – xScMnO<sub>3</sub>. **Цель работы** – выяснить особенности магнитного упорядочения и диэлектрических свойств в зависимости от концентрации x ScMnO<sub>3</sub>.

**Основная часть. Результаты.** Петли магнитного гистерезиса – результаты измерений M(H) для керамических образцов (1-x)BiFeO<sub>3</sub> – xScMnO<sub>3</sub> ( $0.1 \leq x \leq 0.4$ ) представлены на рис.1. Измерения производились по одной схеме при  $T=300 \text{ K}$  с помощью вибрационного магнитометра LDJ-9500.

Характер петель перемагничивания (рис.1) свидетельствует о том, что твердые растворы (1-x)BiFeO<sub>3</sub> – xScMnO<sub>3</sub> при комнатной температуре проявляют ферромагнитные свойства. На рис.1 видно, что из всех составов (1-x)BiFeO<sub>3</sub> – xScMnO<sub>3</sub>, где  $0.1 \leq x \leq 0.4$ , максимальной намагниченности достигает образец с  $x=0.2$ . Далее по мере убывания M(2.5 кЭ) идут  $x=0.25$ ,  $x=0.3$ ,  $x=0.35$ ,  $x=0.4$  и  $x=0.1$ .

По ширине петель магнитного гистерезиса (рис. 1) можно сделать вывод, что составы (1-x)BiFeO<sub>3</sub> – xScMnO<sub>3</sub> ( $0.2 \leq x \leq 0.35$ ) – ферромагнетики, чувствительные к слабому магнитному полю. Видно, что ширина петли гистерезиса зависит от x. Для x=0.25 она минимальна, для

$x=0.2$  петля шире. Петля гистерезиса для  $x=0.4$  имеет наибольшую ширину, соответственно, поле коэрцитивности  $H_C \approx 90$  Ое. Для  $x=0.35$   $H_C \approx 40$  Ое,  $x=0.3$   $H_C \approx 15$  Ое,  $x=0.25$   $H_C \approx 7.5$  Ое и для  $x=0.2$   $H_C \approx 50$  Ое. Для  $x=0.1$  ширина петли гистерезиса графически не определяется.

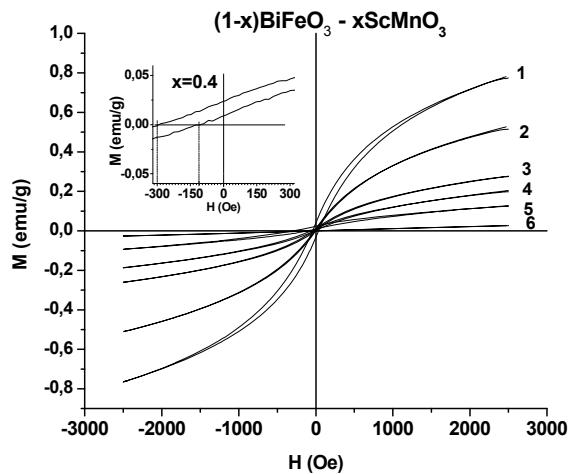


Рис. 1. Петли магнитного гистерезиса, измеренные с помощью магнитометра LDJ-9500 при  $T=300$ К для образцов системы  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  : 1-  $x=0.2$ ; 2-  $x=0.25$ ; 3-  $x=0.3$ ; 4-  $x=0.35$ ; 5-  $x=0.4$  и 6-  $x=0.1$

Диэлектрические параметры тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta_x$  иммитанс  $G_x$  и диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_x$  измерялись с помощью LCR – метров E7-8 (1 kHz) и E7-12 (1 MHz). Диэлектрическая проницаемость определялась как отношение емкости ячейки с образцом  $C_x$  к емкости ячейки с воздухом  $C_B$  [3] :  $\epsilon_x = C_x / C_B$ , где  $C_x = (\epsilon_x \epsilon_0 \cdot S) / d$ ,  $C_B = (\epsilon_B \epsilon_0 \cdot S) / d$ ,  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  F/m,  $S$  – площадь обкладок и  $d$ - расстояние между обкладками конденсатора. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Диэлектрические параметры образцов  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$

1 kHz (E7-8)					
$x$	$\text{tg}\delta_x$	$G_x$ , $\mu\text{S}$	$C_x$ , $\text{pF}$	$C_B$ , $\text{pF}$	$\epsilon_x \pm \Delta\epsilon$
0.1	0.07	32.5 nS	39.5	0.97	$40.9 \pm 0.5$
0.2	0.03	1.47	72.4	0.99	$73.9 \pm 0.75$
0.25	0.02	2.7	96.3	0.99	$97.3 \pm 1.0$
0.3	0.04	1.45	42.6	0.98	$43.5 \pm 0.5$
0.35	0.06	5.8 nS	20.9	0.99	$21.1 \pm 0.3$
0.4	0.08	8.2 nS	16.6	0.99	$16.8 \pm 0.3$
1 MHz (E7-12)					
$x$	$\text{tg}\delta_x$	$G_x$ , $\mu\text{S}$	$C_x$ , $\text{pF}$	$C_B$ , $\text{pF}$	$\epsilon_x \pm \Delta\epsilon$
0.1	0.06	6.0 nS	15.13	0.76	$19.9 \pm 0.3$
0.2	0.07	2.92	7.0	0.81	$8.6 \pm 0.3$
0.25	0.64	33.2	8.21	1.01	$8.1 \pm 0.3$
0.3	0.26	10.9	8.3	0.83	$10.0 \pm 0.3$
0.35	0.57	23.7	7.65	0.96	$8.0 \pm 0.3$
0.4	0.25	11.33	7.05	0.91	$7.7 \pm 0.3$

Из таблицы видно, что с изменением  $x$  диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_x$  изменяется немонотонно. Измеренная на частоте 1 kHz при изменении  $x$  от 0.1 до 0.25,  $\epsilon_x$  растет от 41 до 97, а затем убывает до  $\sim 17$  с ростом  $x$  до 0.4. Для частоты 1 MHz  $\epsilon_x$  вначале резко уменьшается от 20 ( $x=0.1$ ) до  $\sim 9$  ( $x=0.2$ ). При дальнейшем увеличении  $x$  диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_x$  меняется мало, оставаясь в пределах 8–10. Сравнивая значения  $\epsilon_x$  при частотах 1 kHz и 1 MHz, был подтвержден тот факт, что с увеличением частоты диэлектрическая проницаемость уменьшается.

**Заключение.** Анализ кривых  $M(H)$  (рис.1) позволяет сделать вывод, что в системе твердых растворов  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  в диапазоне концентраций  $0.1 < x < 0.4$  при комнатной температуре наблюдается ферромагнитное упорядочение. Причем в большей степени при  $x=0.2$  и в меньшей при  $x=0.1$ . Максимальная намагниченность наблюдалась у образца с  $x = 0.2$ , а минимальная у образца с  $x = 0.1$ . Несимметричность петель магнитного гистерезиса относительно  $H=0$  (особенно для  $x=0.4$ ) свидетельствует о том, что кроме ферромагнитной фазы в твердых растворах  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  присутствует и антиферромагнитная фаза. За магнитное упорядочение в  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{ScMnO}_3$  отвечают как взаимодействие Дэялошинского [1], так и суперобменные взаимодействия Fe-O-Fe, Fe-O-Mn и Mn-O-Mn.

## 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. Назаренко А.В. Особенности структурных состояний в твердых растворах  $\text{BiFeO}_3 - \text{YMnO}_3$  / А.В.Назаренко, А.Г.Разумная, М.Ф Куприянов и др. // Физика твердого тела. – 2011. – Т.53, вып.8. – С. 1523-1525.
3. Михайлов В.И. Магнитные и диэлектрические свойства твердых растворов  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{YMnO}_3$  / В.И.Михайлов, В.Т.Довгий, А.И.Линник, З.Ф.Кравченко и др. // Физика и техника высоких давлений. – 2018. – Т.28, № 2. – С.52-59.

УДК 536-11

## ЭЛАСТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЛЕНТАХ СПЛАВА $\text{Ti}_2\text{NiCu}$ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ РАСТЯГИВАЮЩЕЙ СИЛЫ С ЧАСТОТОЙ ДО 50 ГЦ

*Морозов Е.В.<sup>1</sup>, Коледов В.В.<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор,  
Кули-заде Т.А.<sup>2</sup>, канд. техн. наук,*

*Знаменская И.А.<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор*

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова», г. Москва, РФ,

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,

г. Москва, РФ

*evgvmorozov@gmail.com*

**Введение.** В последние годы функциональные материалы и их свойства занимают одну из лидирующих позиций по перспективности.

Изучаются не только материалы, но и эффекты, такие как магнитокалорический, эластокалорический и электрокалорический, возникающие в образцах под воздействием внешних полей. Суть названных выше явлений заключается в нагреве исследуемого образца под воздействием внешних полей: магнитного, поля механических напряжений, электрического соответственно. Данная работа посвящена экспериментальному изучению эластокалорического эффекта.

В работе [1] показано, что наибольшим по величине эластокалорическим эффектом обладает сплав NiTi- порядка 20 К. Однако, в ряде работ [2-4] было отмечено, что не смотря на гигантский эффект, данный сплав активно накапливает усталость, что очень сильно снижает износостойкость материала. Таким образом, авторами работы [1] были предложены другие материалы, такие как: Ni<sub>2</sub>FeGa, NiTiCu, CuZnAl, CoNiAl, признанные наиболее перспективными для эластокалорического охлаждения в силу своих высоких термомеханических характеристик. Также, стоит отметить работу [5], в которой было зарегистрировано колоссальное значение ЭКЭ в сплаве Ni-Mn-In, которое составило 31,5 К, но это было единоразовая деформация. Стоит также заметить, что на сегодняшний день мировое сообщество не уделяет должного внимания деформации при циклическом воздействии при частотах более 4 Гц.

**Целью** данной работы является экспериментальное исследование ЭКЭ при разных значениях частоты циклов внешнего механического воздействия. Достижение рекордного значения ЭКЭ при циклическом воздействии в сплаве Ti<sub>2</sub>NiCu.

**Основная часть.** В данной работе для изучения эластокалорического эффекта были выбраны образцы отожженных лент быстрозакалённого сплава Ti<sub>2</sub>NiCu, длиной 11 см, шириной 1,5 мм, толщиной 35 мкм.

Для изучения эластокалорического эффекта в быстрозакалённых лентах сплава Ti<sub>2</sub>NiCu была сконструирована экспериментальная установка, схема которой представлена и подробно описана в [6].

Также, в рамках данной работы было собрано и применено устройство, позволяющее пропускать через образец ток линейно зависящий от времени, с целью равномерного нагрева образца.

В результате проведённых измерений, получены и обработаны ИК-термограммы одна из таких представлена на рис. 1.

На основе полученных и обработанных термограмм показано, что максимальная величина ЭКЭ в быстрозакалённых лентах сплава Ti<sub>2</sub>NiCu составляет 21 К при нагрузке 300 МПа и частоте циклов растяжения- сжатия 3 Гц, что является рекордным значением для данного сплава (рис. 2).

Замечено, что величина ЭКЭ не зависит от частоты деформации (рис. 3).

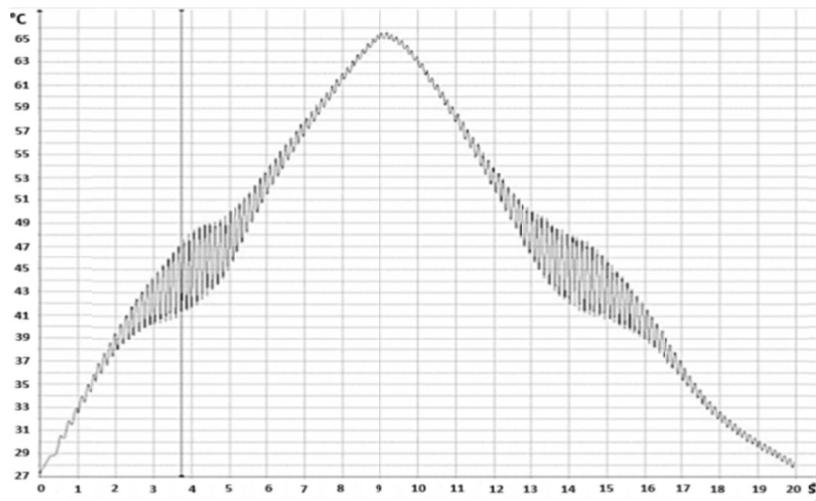


Рис. 1. Зависимость температуры образца от времени при нагреве и охлаждении при частоте циклов вынуждающей силы 10 Гц, максимальная нагрузка 100 МПа. Максимальное значение ЭКЭ составляет 6 К

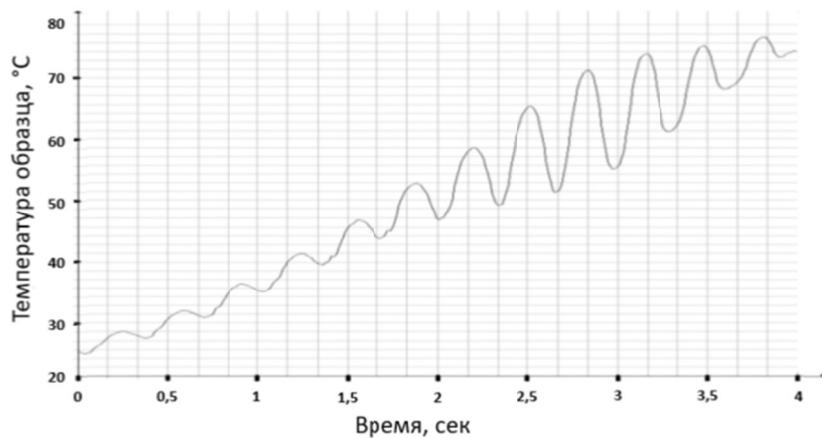


Рис. 2. Зависимость температуры образца от времени при постепенном нагреве под воздействием внешнего периодического механического напряжения частотой 3 Гц, максимальной величиной 300 МПа

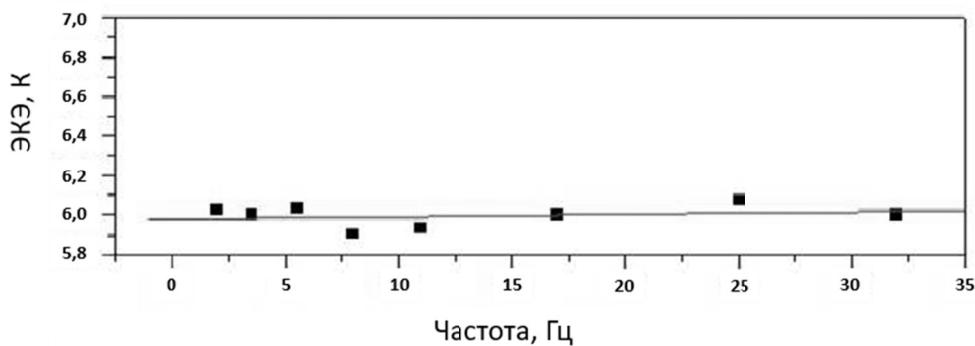


Рис.3. Зависимость ЭКЭ от частоты циклов растяжения – сжатия образца при максимальном механическом напряжении 100 МПа при температуре  $A_f$

### Заключение.

1. Была улучшена экспериментальная установка для изучения и достижения гигантских значений эластокалорического эффекта в быстrozакалённых лентах сплава  $Ti_2NiCu$ .

2. Показано, что величина ЭКЭ в сплаве составляет 21 К при нагрузке 300 МПа и частоте циклов деформации 3 Гц.
  3. Величина ЭКЭ не зависит от частоты циклов растяжения-сжатия.
- Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07-01320.

### Список литературы

1. Sehitoglu H. Elastocaloric effect in extreme / H. Sehitoglu, Y. Wu, E. Ertekin // Scripta Materialia. – 2018. – Т. 148. – С. 122-126.
2. Min Zhou. The elastocaloric effect of  $Ni_{50.8}Ti_{49.2}$  shape memory alloys / Min Zhou, Yushuang Li, Chen Zhang, Shapojie Li, Erfu Wu, Wei Li, Laifeng Li // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2018. – Т. 51, №13. – С. 135303.
3. Ossmer H. TiNi- based films for elastocaloric microcooling – fatigue life and device performance / H. Ossmer, C. Chluba, S. Kauffmann- Weiss, E. Quandt, M. Kohl // APL Materials – 2016. – Т. 4, №6 – С. 064102.
4. Bechtold C. High cyclic stability of the elastocaloric effect in sputtered TiNiCu shape memory films/ C. Bechtold, C. Chluba, R. Lima de Miranda, and E. Quandt // Applied Physics Letters – 2012. – Т. 101, №9. – С. 091903.
5. Cong D. Colossal elastocaloric effect in ferroelastic Ni-Mn-Ti alloys / D. Cong, W. Xiong, A. Planes, Ya. Ren, L. Mañosa, P. Cao, Zh. Nie, X. Sun, Zh. Yang, X. Hong, Ya. Wang //, Physical Review Letters – 2019. – Т. 122, №25 – С. 255703.
6. Морозов Е.В. Эластокалорический эффект в аморфном сплаве Ti<sub>2</sub>NiCu при внешнем периодическом воздействии до 10 Гц / Е.В.Морозов, С.Ю.Федотов, В.В.Коледов и др. // Материалы международного симпозиума «Перспективные материалы и технологии». – Брест, Беларусь. – 2019. – С.627.

УДК 538.9; 539.89

### ДИНАМИЧЕСКАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ СЖАТОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО Хе

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

**Троицкая Е.П.<sup>1</sup>**, д-р физ.-мат. наук,

**Горбенко Е.Е.<sup>2</sup>**, канд. физ.-мат. наук, доцент

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

<sup>2</sup>ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», г. Луганск, ЛНР

*pilipenko.katerina@mail.ru*

Кристаллы инертных газов (КИГ) являются простейшими молекулярными кристаллами, которые состоят из слабовзаимодействующих атомов с полностью заполненными оболочками. Все КИГ (кроме Не) при нормальном давлении имеют гранецентрированную кубическую (ГЦК) структуру [1]. В настоящее время экспериментально известно, что в Хе, относящемуся к тяжелым КИГ, при 75 ГПа происходит переход из ГЦК в гексагональную плотноупакованную (ГПУ) структуру [2], а при 132 ГПа происходит его металлизация [3].

Теоретические исследования уравнений состояний, энергетических спектров фононов, структурных фазовых переходов индуцированных давлением в КИГ и других кристаллах ведутся в нескольких направлениях: 1) симметрийный анализ на основе теории групп (см., например, [4]); 2) расчеты на основе полуэмпирических моделей [5, 6]; 3) *ab initio* расчеты (см., например, [5, 7, 8] и ссылки там). Это разделение в значительной мере условно. Для получения численных результатов исследования из первого направления комбинируются с современными методами на основе теории функционала плотности (DFT), а расчетные методы опираются на симметрийный анализ. В *ab initio* расчетах на основе DFT используется столько приближений (особенно для обменно-корреляционного потенциала) и подгоночных параметров, что строго говоря, эти расчеты уже мало отличаются от полуэмпирических [7].

Основная тенденция теоретических исследований сжатых КИГ в последнее десятилетие – это стремление добиться точности в расчетах сравнимой с экспериментальной точностью, что невозможно без учета многочастичного взаимодействия [8].

Исследование абсолютных неустойчивостей представляет собой интерес в тех случаях, когда фазовые переходы первого рода, которые могут предшествовать абсолютной неустойчивости структуры, близки к ней.

В представленной работе в модели деформированных и поляризуемых атомов (модель Толпыго) проведено исследование влияния трехчастичного взаимодействия и деформации электронных оболочек атома на динамическую нестабильность кристаллического Хе под давлением.

При структурных ГЦК-ГПУ переходах в кристаллическом Хе ГЦК-решетка становится менее энергетически выгодной, чем ГПУ, но остается еще устойчивой. Здесь мы рассмотрим случай, когда ГЦК решетка становится абсолютно неустойчивой, т.е. когда исчезает минимум ее потенциальной энергии.

В работе [9] были приведены выражения для квадратов собственных частот в симметричных направлениях волнового вектора  $\mathbf{k}$  (безразмерные переменные  $\Omega = \omega \sqrt{ma^3/e^2}$ ,  $\mathbf{k} = a\mathbf{K}$ ) с учетом трехчастичных сил обусловленными как перекрытием электронных оболочек атомов, так и деформацией электронных оболочек. Нами были рассмотрены так называемые «критические» точки X и L, и направление  $\Sigma$ , где происходит «размягчение» фононных частот  $\hbar\omega_{\mathbf{k}} \rightarrow 0$  [10]. Приведем выражением для направления  $\Sigma$  [10]

$$\begin{aligned} \Omega_{T_1}^2 = & (H + 2E + 4F) \sin^2 k_x + (G + 2H)(1 - \cos k_x) + \\ & + \left[ D_1 - \frac{h^2}{A^{-1} - \varphi_{xx} + \varphi_{xy}} \right] \sin^4 k_x + \left[ D_2 - \frac{2h(2h + g)}{A^{-1} - \varphi_{xx} + \varphi_{xy}} \right] (1 - \cos k_x) \sin^2 k_x + \quad (1) \\ & + \left[ D_3 - \frac{(2h + g)^2}{A^{-1} - \varphi_{xx} - \varphi_{xy}} \right] (1 - \cos k_x)^2 + B(\chi_{xx} - \chi_{xy}). \end{aligned}$$

Здесь  $H = H_0 + \delta H$ ,  $G = G_0 + \delta G$ ,  $H_0(a\sqrt{2})$  и  $G_0(a\sqrt{2})$  являются первой и второй производными короткодействующего парного потенциала отталкивания для равновесных расстояний первых соседей; аналогично для вторых соседей  $F = H_0(2a)$  и  $E = G_0(2a)$ ;  $B$  определяет взаимодействие Ван-дер-Ваальса;  $h$  и  $g$  – параметры деформации электронных оболочек атомов дипольного типа в парном приближении;  $\chi_{xx}, \chi_{xy}, \chi_{xz}$  – функции  $\mathbf{k}$ , происходящие от ван-дер-ваальсовских сил;  $\varphi_{xx}, \varphi_{xy}, \varphi_{xz}$  – коэффициенты электрического поля, вызванного системой диполей  $\mathbf{P}$ ;  $A$  – безразмерная поляризуемость атома (см. [10] и ссылки там). Параметры  $\delta G$ ,  $\delta H$  и  $V$ , описывают трехчастичные короткодействующие силы, обусловленные перекрытием электронных оболочек (недеформированных) атомов. Параметры  $A_i, B_i, D_i$  описывают трехчастичные силы, связанные со взаимной деформацией электронных оболочек. Параметры, необходимые для расчета фононных частот в зависимости от сжатия  $u = \Delta V / V_0$  ( $\Delta V = V(p \neq 0) - V_0$ ,  $V_0$  – объем при  $p=0$ ) представлены в работе [9].

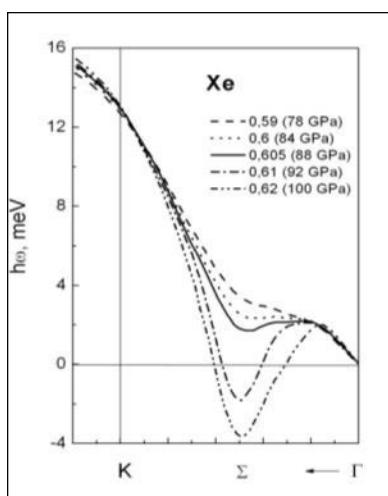
На рис.1 приведено размягчение «критических» колебаний поперечной ветви  $T_1$  в направлении  $\Sigma$  для Xe. Сплошной линией мы обозначили рассчитанные минимальные значения фононных частот  $\hbar\omega_{\lambda k}(u)$  при указанных на рис.1 сжатиях. Будем считать эти сжатия и соответствующие им давления критическими  $p_c$ . При больших сжатиях частота становится мнимой. Как видно из рис.1 при давлениях больше

критических  $p > p_c$  и соответствующих им сжатиях (для Xe  $u=0.605$ , что соответствует  $p_c=88$  ГПа),  $\hbar\omega_{\lambda k} \rightarrow 0$  и наступает абсолютная неустойчивость, указывающая на необходимость фазового перехода. Действительно такой переход был экспериментально обнаружен [2, 3].

Подчеркнем, что рассмотрение одной лишь механической устойчивости не решает вопрос о реальной структуре кристалла, которая для фазовых переходов, происходящих под действием давления, определяется термодинамическим потенциалом. Как правило, абсолютным неустойчивостям предшествуют фазовые переходы первого рода, поэтому критические сжатия указывают лишь верхнюю границу по сжатию для фазового перехода.

Рис.1. Фононная дисперсия частот поперечной ветви  $T_1$  в направлении  $\Sigma$  для Xe при различных сжатиях  $u$  (давлениях  $p$ )

Таким образом, проведенный анализ расчетов фононных частот напряженного кристалла показал, что межатомный потенциал с учетом трехчастичного взаимодействия и деформации электронных оболочек



атомов отражает все существенные черты поведения кристаллического Хе под давлением.

### Список литературы

1. T. Kihara and S. Koba, J. Phys. Soc. Jpn. **7**, 348 (1952).
2. A. P. Jephcoat, H.-k. Mao, L. W. Finger, D. E. Cox, R. J. Hemley, and C.-s. Zha. Phys. Rev. Lett **59**, 23, 2670 (1987).
3. K.A. Goettel, J.H. Eggert, I.F. Silvera, W.C. Moss, Phys. Rev. Lett. **62**, 665 (1989).
4. R. A. Evarestov and Yu. E. Kitaev J. Appl. Cryst. **49**, 1572. (2016).
5. A. Grechnev, S. M. Tretyak, and Yu. A. Freiman, Low. Temp. Phys. **36**, 333 (2010).
6. В.Ю. Бодряков ЖТФ **83**, 5, 101 (2013).
7. M. G. Medvedev, I. S. Bushmarinov, J. Sun, J. P. Perdew, and K. A. Lyssenko, Science **355**, 49 (2017).
8. P. Schwerdtfeger, K.G. Steenbergen, and E. Pahl Phys. Rev. B **95**, 214116 (2017).
9. Е.П. Троицкая, Вал.В. Чабаненко, Е.Е. Горбенко, Е.А. Пилипенко ФТГ, **57**, 114 (2015).
10. Е.П. Троицкая, Е.А. Пилипенко, Е.Е. Горбенко ФТГ, **61**, 154 (2019).

УДК 538.11

## ШЕСТИБИТОВЫЕ СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В СУБМИКРОННЫХ ПЛЕНКАХ ЖИГ

**Пойманов В.Д.<sup>1</sup>, Метлов Л.С.<sup>1,2</sup>**

<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

*lsmet@fti.dn.ua, Vladislav.Poymakov@yandex.ru*

Известно, что вся современная вычислительная техника работает в двоичной системе счислений, используя магнитные материалы с двумя устойчивыми состояниями. В то же время, очевидно, что привлечение материалов с большим количеством равноценных равновесных состояний позволяет создавать более экономичные элементы памяти и процессоры, использующие системы счислений более высокого уровня. Наиболее желательным могли бы быть системы, работающие сразу с байтами. В данной работе в качестве потенциального элемента памяти предложена пленка ЖИГ с осью [111], ориентированной вдоль нормали.

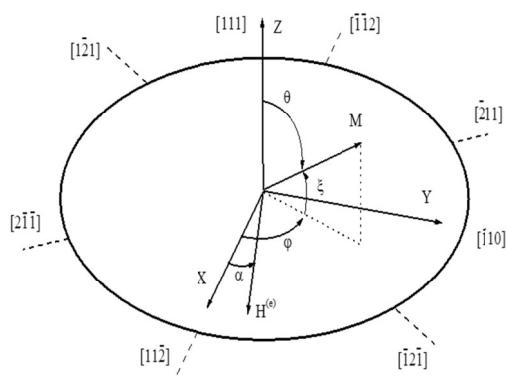


Рис.1. Ориентация намагниченности относительно кристаллографических осей и нормали к пленке

Плотность энергии анизотропии для однородно намагниченного неограниченного кристалла ЖИГ имеет вид [1]:

$$W_c = -H_c M \left( \frac{\sin^4 \theta}{4} + \frac{\cos^4 \theta}{3} + \frac{\sqrt{2}}{3} \sin^3 \theta \cos \theta \cos(3\varphi) \right)$$

где поле кубической анизотропии  $H_c = 45 \text{ Э}$ ,  $4\pi M = 1250 \text{ Э}$ , а сама константа анизотропии отрицательна. Очевидно, что для неограниченного кристалла существует четыре двусторонних оси третьего порядка, расположенных вдоль пространственных диагоналей куба. Если ось  $z$  выбрать вдоль одной из них, то три остальных будут расположены к ней под углом  $\theta_0 = \arctg(2\sqrt{2}) \sim 70^\circ$ , а их проекции на плоскость  $xy$  – под углами  $120^\circ$  ( $\varphi = 0, \pm \frac{2\pi}{3}$ , соответственно для продолжений этих осей получаем  $\varphi = \pm \frac{\pi}{3}, \pi$ ). Таким образом, всего существует восемь метастабильных состояний, разделенных барьерами порядка поля анизотропии, т.е., относительно устойчивых.

С практической точки зрения интерес могли бы представлять однодоменные пленки, для чего необходима их малая толщина. В этом случае не пришлось бы комплектовать их постоянным магнитом для поддержания в насыщенном состоянии. Субмикронные пленки в однодоменном состоянии представляют интерес и как потенциальные устройства записи и хранения информации (1), и с точки зрения наблюдаемых в них эффектов (2). Одним из авторов (Шкарь В.Ф.) такие пленки были получены экспериментально (толщина составляла около 0,1 мк). Признаков наличия в них доменной структуры не наблюдалось, поскольку экспериментально наблюдались резонансы, характерные для однородного ФМР.

1. Следует обратить внимание, что для пленок (особенно тонких), необходимо учитывать их размагничивающее поле, плотность энергии которого  $4\pi M \frac{\cos^2 \theta}{2}$ . При этом, как показывает анализ, последнее укладывает вектор намагниченности практически в плоскость пленки (угол порядка  $1^\circ$ ), а нормальная ориентация становится неустойчивой. Поэтому вместо восьми остается шесть метастабильных состояний, изображенных схематически на рис. 2.

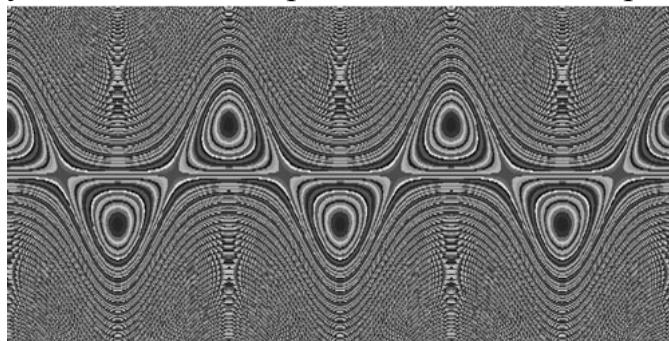


Рис. 2 Эквипотенциальный рельеф энергии пленки по азимуту (вертикаль) и по полярному углу (горизонталь)

Существенно, что размагничивающее поле, таким образом, резко снижает барьер между состояниями – теперь для квазипланарного перемаг-

ничивания достаточно поля порядка  $1\text{Э}$ . Таким образом, потенциальное устройство памяти необходимо комплектовать, например, пермаллоевым экраном.

Другие симметричные способы ориентации легких осей к нормали пленки также не дают реализовываться сразу восьми метастабильным состояниям. Например – для случая нормали вдоль оси [100] поле анизотропии должно быть больше  $4\pi M$ , а для [110] – больше  $2\pi M$ . Укажем, что размагничивающее поле целиком подавляется только в сферической частице ЖИГ и, таким образом, для восьмибитовых состояний необходимы однодоменные сферические частицы.

2. Другой аспект применения субмикронных пленок ЖИГ может быть основан на наблюдаемых аномальных эффектах, возникающих при исследовании их линий ФМР и кривых поглощения. На рис. 2а) показана наблюдаемая экспериментально невзаимность частотно-полевой зависимости при прямом и обратном перемагничивании. Данный эффект первоначально приписывался авторами возможной вихревой структуре, поскольку для нее экспериментально было найдено поле переключения высокочастотного поглощения при нормальному намагничивании. Однако такое неоднородное состояние не препятствовало возбуждению однородного ферромагнитного резонанса. Указанная невзаимность говорит не в пользу концепции вихревой структуры. При этом различие кривых ЧПЗ зависело также и от угла поворота в плоскости пленки.

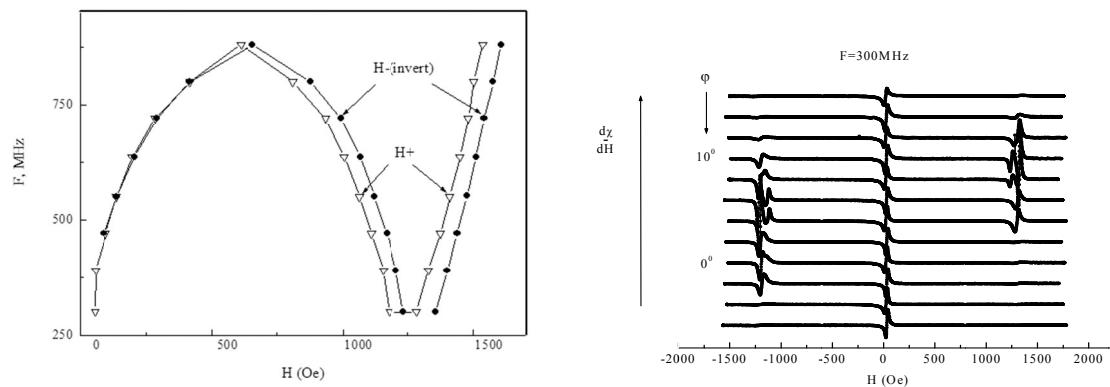


Рис. 3 а) Наблюдаемая экспериментально невзаимность в частотно-полевой зависимости при прямом и обратном перемагничивании б) сдвиг по азимуту линий поглощения ФМР

Другим эффектом является сдвиг по азимутальному углу линий поглощения ФМР (рис. 2б)). Выяснилось, что при вращении пленки в плоскости линии поглощения вблизи поля насыщения исчезают, причем отставание по азимуту для прямого и обратного намагничения составляет около шести градусов.

Еще один наблюдаемый эффект – наличие гистерезиса для кривых поглощения ФМР при прямом и обратном намагничивании (рис 3а). Также

следует отметить очень узкую (около 0,05Э) линию поглощения вблизи нулевого поля, что делает возможным применение пленок ЖИГ в устройствах сканирования магнитных полей на малых пространственных масштабах (рис. 3). Это явление было предложено использовать для сканирования неоднородностей проводящих поверхностей.

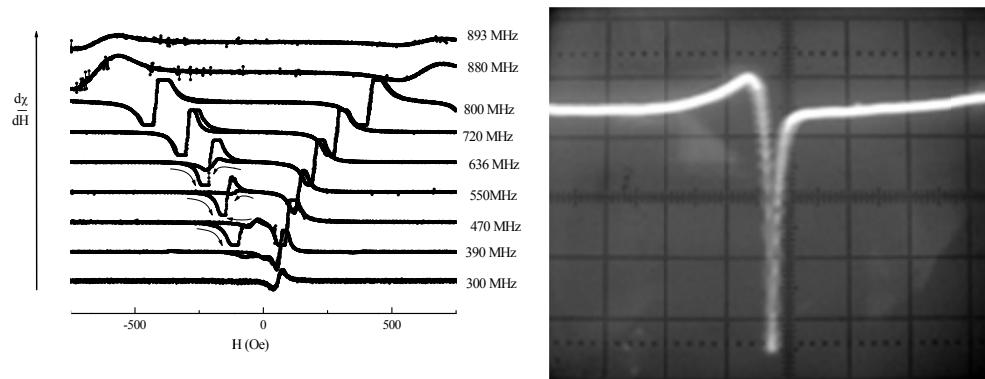


Рис. 4 а) гистерезис при обратном намагничивании,  
б) кривая поглощения в нулевом поле

Для объяснения этих эффектов была построена теория вращательного перемагничивания. Выяснилось, что данные эффекты с уверенностью можно приписать не возможной вихревой структуре, а неколлинеарности прикладываемого внешнего поля или легкой оси пленки к ее нормали. Теоретически и экспериментально было показано, что кривые поглощения очень чувствительны к малым отклонениям по полярному углу.

Возможные ориентационные переходы при квазинормальном перемагничивании можно условно разделить на два вида. Первый из них происходит в полях порядка поля анизотропии, т.е., около 20Э и связан с переориентацией вектора намагниченности в плоскости пленки вблизи планарного состояния на угол порядка  $60^0$ . Второй тип ОП происходит уже в полях порядка  $4\pi M$  и приводит к дальнейшему вращению намагниченности при переключении поля. Причиной этого является задержка переключения в другое метастабильное состояние, обусловленное особенностями изменения потенциального рельефа. Таким образом можно добиться регулярного вращения намагниченности вокруг нормали при переключении поля. Экспериментально такие ОП детектируются по всплескам на кривых поглощения. Важно также отметить, что при приложении поля строго вдоль нормали некоторые эффекты экспериментально не обнаруживаются.

Таким образом, данные эксперимента и теоретический расчет позволяют сделать вывод о структуре распределения намагниченности в субмикронной пленке.

### Список литературы

1. В.Ф. Шкарь, Е.И. Николаев, В.Н. Саяпин, В.Д. Пойманов, ФТТ **46**, 1043 (2004).

2. В.Ф. Шкарь, В.Д. Пойманов, В.В. Коледов, В.Г. Шавров. Тезисы докладов Международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Челябинск, 24-28 августа 2015. С. 84.
3. Гуревич А.Г. Магнитные резонансы в ферритах и антиферромагнетиках. 593с., 1973.
4. Шкарь В.Ф., Варюхин В.Н. Письма в ЖЭТФ, том 88, вып. 4, с. 311-214, 2008.
5. Shkar V.F., Spiridonov V.N., Salkov I.G. and Morenko V.V. Acta physica polonica A, No 5-6, Vol. 121 (2012).

УДК 537.6

## **ЗАКОНЫ ОБЪЕМНОЙ УПРУГОСТИ В ДЕФОРМАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ НА ПОЛИМОРФНЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ФОРМИРОВАНИЯ**

**Поляков П.И.**, д-р физ.-мат. наук,  
ГУ «Институт физики горных процессов», г. Донецк, ДНР  
*polyakov\_p\_42@mail.ru*

В настоящее время, когда происходит дробление науки на области и подобласти, к которым относится круг идей, связанных с фазовыми переходами, и что принимать за основу в физике конденсированных состояний.

Следует отметить практически все исследования во всех школах проводились в двух параметрах Т-Н, Т-Р, не было ясно, что главное в этих измерениях. Те модели или теории не учитывали реальный физпроцесс ответственный за все что делается в структуре как, пример, обращаем внимание на работы П.Л. Капицы [1]: использование высоких магнитных полей в импульсе до 500 кэр  $\approx 10^{-5}$  атм и низких температур, исследовались чистые однокомпонентные материалы. Эта наработка позволила высказать идею деформирующего влияния Н. Параллельно в это же время проводил исследования П. Бриджмен [2]. Но исследования в трех параметрах нигде не проводились, именно это послужило поводом провести такие исследования в трех параметрах резонансными методами.

Использование высокочувствительных методов исследования, в которых не учитывались обобщающиеся закономерности физических процессов изменений состояний структур под влиянием в широком диапазоне температур, магнитных полей и гидростатических давлений.

Объектом исследований в широком спектре магнитных полей Н и фиксированных температур было нарушения структуры магнитных полей за счет магнитоупругих напряжений, диамагнитные структуры проявляли стрикционные свойства. Следует отметить линейный закон в высоких полях при фиксированных температурах.

Исследование под высоким давлением – это определенный метод воздействия на состояние атомов в структуре через энергию объемной

упругости, фиксирующих физический процесс экспериментальными методами. В [3], приводятся результаты из [4], [5], где проводились исследования поликристалла и пленки мanganита  $\text{La}_{0,9}\text{Mn}_{0,3}\text{O}_3$ . Механизм распределения термоупругих напряжений имеет место в физических процессах обменного перехода электронов внутренних незаполненных оболочек атомов в ячейках структуры при участии полусвободных валентных электронов.

Возникает вопрос – можно ли анализировать физический процесс влияния параметров, взяв за основу, состояние структуры от температур, магнитных полей и давлений? От температур, минимального объема, максимальной плотности, энергии связи напряжение состояния ослабляется термоупругим расширением. Процесс теплоотвода – это ослабление связи валентных полусвободных электронов при котором уменьшается проводимость, а увеличивается объем и сопротивление. От давлений при фиксированной температуре происходит уменьшение объема, увеличение напряжений энергии связи, повышение плотности. Скачки объема – это фазовые переходы, структурные изменения. От магнитного поля происходит состояние магнитонескомпенсированности из-за температуры магнитоупругих напряжений в структуре, что фиксируется магнитострикцией. Через деформацию структуры изменяется спиновая нескомпенсированность. Вносимые напряжения – это дополнительный источник изменений объема плотности, формы структуры, «охлаждающий эффект».

Анализ экспериментальных данных, показывает, что воздействие 3-х параметров приводит к линейным изменениям резистивных, резонансных, магнитных свойств и динамики изменения зависимостей фазовых переходов. Такие явления, приводят к изменениям не только в сверхпроводниках, а в любой структуре в целом. Следует учитывать, что влияние параметров приводит к изменению объема и, как следствие, причинная роль объемной упругости является определяющей в перекрестных эффектах (термо-, магнито-, бароупругости). Деформационное обратимое изменение состояние твердого тела под воздействием внешних параметров вытекает из основных положений термодинамики и является предпосылкой гипотезы причинной роли объемной упругости в формировании изменений как свойств, так и фазовых состояний.

Структурно-фазовый переход – это есть изменение объема, скачек свойств. Следует отметить, что установленные закономерности в других работах проявляются повторением наших результатов как пример давления проявляет охлаждающий – нагревающий эффект.

Проведено сравнение  $6^0$  -3 кэр и как следствие идея 1 кбар колоссального магнито-сопротивления – есть изменение объема за счет дополнительного влияния энергии упругости.

И как следствие проведенные исследования резонанса. В резонирующую систему помещен образец, поглощение влияет на

состояние и добротность системы, что проявляется в исследуемом сигнале, т.е. привязано к физпроцессу. Характерно проявление фазового перехода. По результатам исследований установлено различие по сжимаемости орторомбической структуры, что и проявляется в виде ФП – фаза критическая 6-9,2° К.

Влияние высоких давлений широко проявляется в состоянии структуры, ширины линий, интенсивность, т.е. система значительно видоизменяется, если присутствует 3 параметра.

Обобщая результаты, необходимо выделить закономерности линейности упругости. Используя мanganаты, продлевая исследуемые зависимости, включая высокие температуры, наблюдается изменение струкции, что проявляется в гистерезисе магнитного фактора, наблюдается динамика изменения. Наиболее наглядно этот результат линейности при высоких температурах рентгеновским методом в пределах 300-1500°, это касалось и монокристалла и поликристалла. Линейность проявляется в  $\text{CuCl}_2\text{Zn}_2\text{O}$  под Т, Н, Т на фазовом переходе L – рода. Фиксируемая полоса пересечения соответствует как антиферромагнетизму, так и сверхпроводимости. Анализируя исследуемые зависимости под влиянием Н, Т, Р, которые показали ФП – 1 в 0°К этот факт. Кембрианс признал лучшим результатом года главный результат. Анализ экспериментального результата позволил несколько изменить взгляд на исследуемую физику процессов грамотно оценивая физику исследуемых процессов используемые методы позволяют связать реальный физпроцесс и показать значительную роль эксперимента. Т.е. основой было и остается в исследуемой системе энергия внутренних напряжений, а любое влияние параметров трансформирует и добавляет эти энергии.

## Список литературы

1. Капица П.Л. Физика и техника низких температур / П.Л. Капица. – М.: Наука, 1989. – 388 с.
2. Бриджмен П. Физика высоких давлений / П. Бриджмен. – М. – Л.: ОНТИ, 1935. – 402 с.
3. Поляков П.И. Закономерности влияния температуры, магнитного поля и давления на резистивные свойства  $\text{La}_{0.9}\text{Mn}_{1.1}\text{O}_3$  / П.И.Поляков, С.С.Кучеренко // ФТВД. – 2002. – Т.12, № 1. – С. 92-97.
4. Пащенко В.П. Нестехиометрия, дефектность структуры и свойства мanganит-лантановых магниторезистивных материалов  $\text{La}_{1-x}\text{Mn}_{1+x}\text{O}_{3\pm\delta}$  / В.П. Пащенко, С.И.Харцев, О.П.Черенков, А.А.Шемяков, З.А.Самойленко, А.Д.Лонко, В.И.Каменев // Неорганические материалы. – 1999. – Т. 35, №12. – С.1509-1516.
5. Поляков П.И. / П.И.Поляков, В.Г.Сынков // Приборы и техника эксперимента. – 1977. – Т.1. – С. 223.
6. Gor'kov L.P. On the origin of quantum oscillations in the mixed state of anisotropic superconductor/ L.P. Gor'kov // JETP Letters. – 1998. – V.68, No.9. – P.705-710.
7. Polyakov P.I. Laws of volume elasticity in formation of phase transitions. Conductivity and magnetism / P.I.Polyakov. – Lambert Academic Publishing, 2018. – 204 p.

**ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ  
НЕРЕГУЛЯРНЫХ МАГНОННЫХ МИКРО- И НАНОСТРУКТУР  
МЕТОДОМ МАНДЕЛЬШТАМ-БРИЛЛЮЭНОВСКОЙ  
СПЕКТРОСКОПИИ**

*Садовников А.В.*, канд. физ.-мат. наук, *Грачев А.А.*,  
*Бегинин Е.Н.*, канд. физ.-мат. наук,  
*Шараевский Ю.П.*, д-р физ.-мат. наук, профессор,  
*Никитов С.А.*, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН  
ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет им. Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, РФ  
*SadovnikovAV@gmail.com*

В последнее время большой интерес представляет исследование свойств спиновых волн (СВ) при их распространении в магнитных волноведущих структурах микронных и нанометровых размеров. Благодаря возможности создания нового класса магнитных структур оказывается возможным реализовать целый ряд функциональных блоков для устройств обработки сигнала на принципах магнонники [1]. Последняя является актуальной и быстро развивающейся областью спинtronики и функциональной магнитоэлектроники. При этом основное внимание уделяется использованию СВ в качестве носителей информационных сигналов.

В докладе рассмотрено применение экспериментального метода Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии [2] и численных методов микромагнитного моделирования для исследования динамики спин-волновых возбуждений в планарных магнитных структурах. Приведены результаты исследования латеральных, нерегулярных и композитных магнитных микроструктур [3].

Результаты исследования поддержаны проектами РФФИ (№18-29-27026, № 19-37-90145).

**Список литературы**

1. Nikitov S.A. Magnonics: a new research area in spintronics and spin wave electronics// S.A. Nikitov, D.V. Kalyabin, I.V. Lisenkov, et al. // Phys. Usp. – 2015 – vol. 185, p. 1099
2. Demokritov S.O. Brillouin light scattering studies of confined spin waves: linear and nonlinear confinement /S.O. Demokritov B. Hillebrands A.N. Slavin, Phys. Rep. –2001. – V. 348. – P. 441-489.
3. Sadovnikov A.V. Magnon Straintronics: Reconfigurable Spin-Wave Routing in Strain-Controlled Bilateral Magnetic Stripes / A.V. Sadovnikov, A.A. Grachev, S.E. Sheshukova, et al. // Physical Review Letters. – 2018 – vol. 120. – P. 257203

## ОСОБЕННОСТИ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ С РАЗНЫМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ПОДРЕШЕТКАМИ

**Сирюк Ю.А.**<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, **Безус А.В.**<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук,  
**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  
*juliasiryuk@gmail.com*

**Введение.** Интерес к исследованию эпитаксиальных пленок феррита-граната остается устойчивым до настоящего времени. Это объясняется тем, что степени проявления различных эффектов в таких пленках гораздо выше, чем у объемных монокристаллов того же свойства. В наших работах [1, 2] изучены спонтанные фазовые переходы в жесткой решетке ЦМД одноосной пленки феррита-граната состава  $(TmBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ . Выяснена роль ДГ в фазовых переходах ДС. В настоящей работе рассматривается влияние различного состава редкоземельной подрешетки на спонтанные фазовые переходы в жесткой решетке 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.

**Основная часть.** Для исследования выбраны пленки с развитой поверхностью  $<111>$ , выращенные методом жидкофазной эпитаксии на гадолиний-галлиевой подложке составов: №1 –  $(GdTm)_3(FeGa)_5O_{12}$  ( $T_N=528K$ ,  $T_c=240K$ ), где  $T_N$  – температура Нееля,  $T_c$  – температура магнитной компенсации; №2 –  $(YGDt)_3(FeGa)_5O_{12}$  ( $T_N=443K$ ,  $T_c=80K$ ). Пленки имеют при комнатной температуре фактор качества  $Q > 5$ . При такой величине фактора качества в доменной границе действием импульсного магнитного поля создаются вертикальные блоховские линии (ВБЛ). ДС наблюдается благодаря магнитооптическому эффекту Фарадея.

Пленки имеют сильную одноосную анизотропию, вследствие чего в широком температурном интервале при  $T > T_c$  наблюдается осевая фаза, т.е. создаются ЦМД. Гексагональная решетка ЦМД формируется импульсным магнитным полем, перпендикулярным плоскости пленки, в отсутствии поля смещения. Затем поле выключается. Такая решетка является равновесной при температуре формирования. На рис.1 приведены температурные зависимости магнитных характеристик пленок.

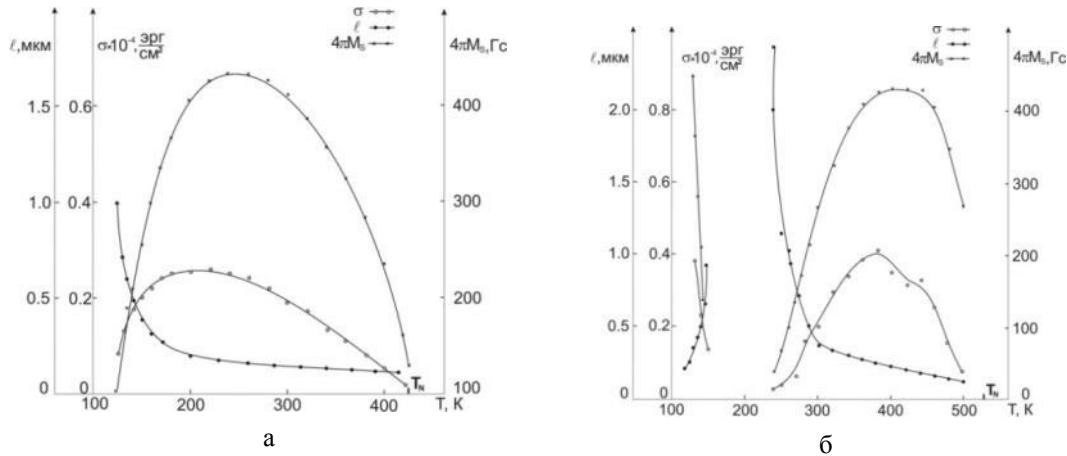


Рис. 1. Температурные зависимости намагниченности насыщения  $4\pi M_S$ , характеристической длины  $\ell$  и плотности энергии доменной границы  $\sigma$ : а – пленки №1; б – пленки №2

В каждой из пленок создается жесткая решетка ЦМД при температуре формирования  $T_F$ , при которой намагниченность насыщения максимальна. Зависимости периода решетки  $a(T)$  и диаметра ЦМД  $d(T)$  подобны зависимостям  $\ell(T)$  (кривая 1 на рис.2).

Под действием импульсного поля создаются жесткие доменные границы с большим количеством ВБЛ. В жестких доменах имеются две силы (сила отталкивания ВБЛ и магнитостатическая сила), которые уравновешиваются сжимающими силами поверхностного натяжения стенки Блоха.

Поэтому в доменных границах ЦМД, составляющих решетку, импульсным полем формируется хотя и большое число ВБЛ, но, тем не менее, их количество меньше, чем в одиночных доменах. Учитывая силы, действующие на ДГ и температурные зависимости характеристик пленок (рис.1), при  $T_F$  создается максимальное число ВБЛ в ДГ (точка А на рис.2). Для равновесной решетки ЦМД температурная зависимость числа ВБЛ изображена кривой 2 на рис.2.

Если же решетку ЦМД сформировать при  $T_F$ , а затем изменять  $T$  пленки, то решетка сохраняется (хотя является уже неравновесной) в соответствующем температурном интервале  $T_1 - T_2$  (рис.2), на обоих концах которого происходят фазовые переходы. При  $T_1$  в решетке ЦМД происходит ФП первого рода в двухфазную структуру с сохранением числа доменов. Этот ФП вызван фазовым переходом в ДГ. При этом число ВБЛ в доменной границе уменьшилось путем аннигиляции (точка В<sub>1</sub> на рис.2). При  $T_2$  в решетке происходит ФП первого рода в новую решетку ЦМД с уменьшением числа доменов [2]. При этом в ДГ происходит фазовый переход с уменьшением числа ВБЛ путем раскручивания (точка В<sub>2</sub> на рис.2). Фазовые переходы при температурах  $T_1$  и  $T_2$  являются ФП

первого рода как в решетке ЦМД, так и в ДГ. В исследуемом температурном интервале таких фазовых переходов в ДГ и в решетке наблюдается несколько (рис.2).

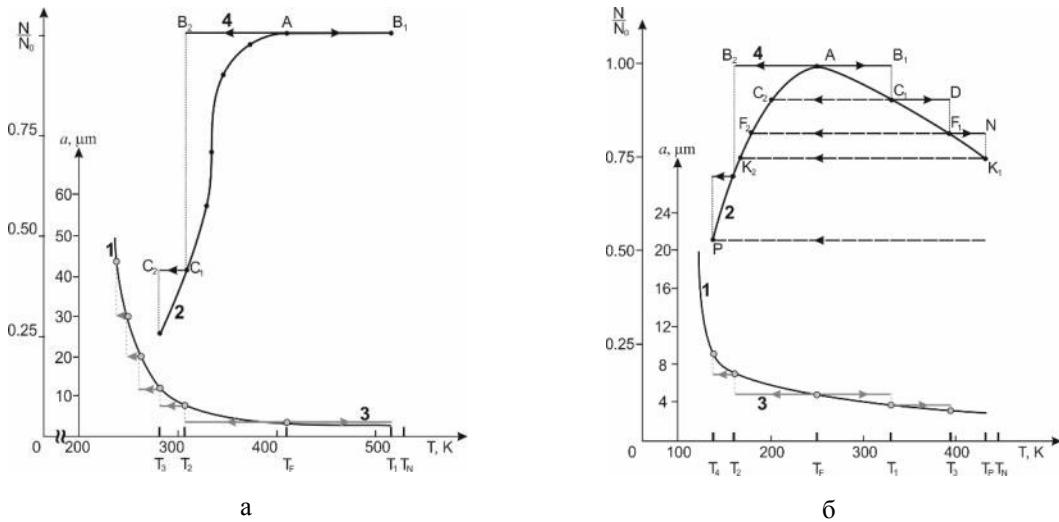


Рис. 2. Температурные зависимости параметров решеток ЦМД (а – пленки №1; б – пленки №2): 1 – период равновесной решетки ЦМД; 2 –  $N/N_0$  ВБЛ в ДГ равновесной решетки ЦМД; 3 – период неравновесной решетки ЦМД; 4 –  $N/N_0$  ВБЛ в ДГ неравновесной решетки ЦМД

Из рис.2 видно, что температурные интервалы устойчивости  $\Delta T$  неравновесных решеток ЦМД зависят от числа ВБЛ в доменной границе. Так, при максимальном числе ВБЛ в ДГ (точка А на рис.2) интервал устойчивости равен  $B_1 - B_2$ . При меньшем числе ВБЛ температурный интервал устойчивости увеличивается. И при простой блоховской стенке, которая создается при  $T = 0.98T_N$  [2], температурный интервал устойчивости максимальен.

**Заключение.** Структура доменной границы ЦМД очень чувствительна к температурному изменению параметров пленки. В ней происходят спонтанные фазовые переходы первого рода, которые вызывают ФП в решетке ЦМД. Механизм фазовых переходов в ДГ при нагревании и охлаждении пленки имеет существенные отличия. Число ВБЛ в ДГ уменьшается при нагревании путем аннигиляции, а при охлаждении – путем раскручивания. Температурный интервал устойчивости ЦМД зависит от структуры доменной границы. С уменьшением числа ВБЛ интервал устойчивости решетки ЦМД увеличивается. Решетка ЦМД с простой блоховской стенкой наиболее устойчива и сохраняется в широком температурном интервале.

### Список литературы

1. Сирюк Ю.А. Индуцированные фазовые переходы в доменных границах жесткой решетки цилиндрических магнитных доменов / Ю.А.Сирюк, А.В.Безус, Е.Д.Бондарь,

- В.В.Смирнов // Вестник ДонНУ. Серия А: Естественные науки. – Донецк, 2018. – № 4. – С. 113-118.
2. 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. Россия. –2019. т. 61 вып. 7 – С.1250-1257.

УДК 669.018.567.41

## ВЛИЯНИЕ БОЛЬШИХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В АМОРФНЫХ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ

*Сундеев Р.В.<sup>1</sup>*, канд. физ.-мат. наук,  
*Шалимова А.В.<sup>1</sup>*, канд. физ.-мат. наук,

*Глезер А.М.<sup>1</sup>*, д-р физ.-мат. наук, профессор, *Рассадина Т.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГУП «ЦНИИчертмет им. И.П. Бардина», г. Москва, РФ

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва, РФ  
*sundeev55@yandex.ru*

В настоящее время большой интерес вызывает изучение структурного поведения систем далеких от равновесия, особенно в условиях барического воздействия. К ним относятся аморфные и кристаллические сплавы, подвергнутые воздействию больших пластических деформаций в условиях кручения под высоким давлением (КВД) в наковальнях Бриджмена [1,2]. В литературе имеются лишь отдельные попытки объяснить природу структурных и фазовых изменений, происходящих в материале при КВД [3]. Вместе с тем, для создания функциональных материалов нового поколения путем целенаправленного воздействия на их структуру необходимо систематическое изучение основных закономерностей структурно-фазовых превращений, протекающих в материале в ходе КВД.

В работе были рассмотрены особенностей деформационной кристаллизации аморфных сплавов  $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ ,  $Fe_{50}Ni_{33}B_{17}$ ,  $Fe_{54}Ni_{29}B_{17}$ ,  $Fe_{58}Ni_{25}B_{17}$ ,  $Fe_{72}Cr_{10}B_{18}$ ,  $Fe_{48}Co_{19}Cr_{15}B_{18}$ ,  $Co_{68}Fe_5Cr_4Si_{11}B_{12}$ ,  $Fe_{75}Si_8B_{17}$ ,  $Fe_{65}Cr_{15}Zr_2B_{16}C_2$  и деформационной аморфизации закристаллизованных аморфных сплавов  $Ni_{50}Ti_{30}Hf_{20}$ ,  $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ ,  $Zr_{50}Ni_{18}Ti_{17}Cu_{15}$  и  $Fe_{78}B_{8.5}Si_9P_{4.5}$  в ходе деформации в наковальнях Бриджмена. Все образцы деформировали методом КВД: квазигидростатическое давление 6 ГПа, число оборотов подвижной наковальни ( $n$ ) изменяли от 1/4 до 9 при постоянной скорости вращения 1 об/мин. Обнаружено, что склонность к деформационной аморфизации кристаллических сплавов и соответствующих кристаллических фаз при КВД можно описать, рассматривая три фактора влияния: механический, термодинамический и концентрационный. Методами рентгеноструктурного анализа, просвечивающей электронной микроскопии и EXAFS спектроскопии подробно исследованы стадии

аморфизацией кристаллического сплава  $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$  в ходе КВД. Оказалось, что аморфная фаза зарождалась на границах кристаллических фрагментов [4]. При продолжении деформации сетка утолщалась и трансформировалась в массивную деформационно-индуцированную аморфную фазу, которая охватывала практически, весь объем материала. Показано, что возникающая в ходе КВД кристаллического сплава  $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$  аморфная фаза имеет различную локальную атомную структуру в зависимости от величины деформации [5].

Выявлено, что при КВД аморфных сплавов на основе железа с различными температурами кристаллизации в материале, протекают процессы кристаллизации. Экспериментально обнаружено, что, чем ниже значение температуры кристаллизации аморфного сплава, тем большие значение объемной доли кристаллической фазы наблюдается после деформации. Эффект деформационной кристаллизации в аморфных сплавах на основе железа при КВД обусловлен как адиабатическим выделением тепла и соответствующим повышением температуры в деформационных, сильно локализованных полосах сдвига, так и заметным увеличением концентрации областей избыточного свободного объема в этих полосах [6]. При этом было обнаружено, что при снижении температуры КВД до 77К удается подавить проявление эффектов кристаллизации в аморфных сплавах на основе Fe. Методом EXAFS при использовании синхротронного излучения было установлено, что КВД при 77К разрушает ближний композиционный и топологический ближний порядок в расположении атомов и уплотняет аморфную матрицу, повышая среднее координационное число и снижая средний радиус между парами атомами различного типа в первой координационной сфере атомов железа.

## Список литературы

1. Estrin Y. Extreme grain refinement by severe plastic deformation: A wealth of challenging science / Y.Estrin, A.Vinogradov // Acta Mater. – 2013. – V. 63, № 3. – P. 782-817.
2. Zhilyaev A.P. Using high-pressure torsion for metal processing: fundamentals and applications / A.P.Zhilyaev, T.G.Langdon // Prog. Mater. Sci. – 2008. – V. 53. – P. 893-979.
3. Glezer A.M. General view of severe plastic deformation in solid state / A.M. Glezer, R.V. Sundeev // Materials Letters. – 2015. – V. 139. – P. 455-457.
4. Sundeev R.V. In situ observation of the “crystalline  $\Rightarrow$  amorphous state” phase transformation in  $Ti_2NiCu$  upon high-pressure torsion / R.V.Sundeev, A.V.Shalimova, A.M.Glezer et al. // Materials Science & Engineering A. – 2017. – V. 679. – P. 1-6.
5. Sundeev R.V. Difference between local atomic structures of the amorphous  $Ti_2NiCu$  alloy prepared by melt quenching and severe plastic deformation / R.V.Sundeev, A.V.Shalimova, A.A.Veligzhanin et al.// Materials Letters. – 2018. – V. 214. – P. 115-118.
6. Glezer A.M. Phase transformations «amorphization  $\Leftrightarrow$  crystallization» in metallic materials induced by severe plastic deformation / A.M.Glezer, R.V.Sundeev, A.V.Shalimova // Reviews on advanced materials science. – 2018. – V. 54. – P. 93-105.

## НЕЗЕРКАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПЕРВОГО ПОРЯДКА ПРИ НОРМАЛЬНОМ ПАДЕНИИ КВАЗИПЛОСКОЙ ВОЛНЫ НА СЛОИСТУЮ МАГНИТНУЮ СТРУКТУРУ (ГЕОМЕТРИЯ ФОГТА)

*Тарасенко А.С.<sup>1</sup>, Сухорукова О.С.<sup>2</sup>*, канд. физ.-мат. наук

<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

*artem.s.tarasenko@gmail.com*

**Введение.** Требования к миниатюризации оптоэлектронных устройств стимулируют рост интереса к изучению эффектов незеркального отражения и прохождения, т.е. отклонений в структуре волнового поля (по отношению к предсказываемым геометрической оптикой для монохроматической плоской волны). Подобные отклонения возникают при падении квазиплоской волны ТМ- или ТЕ-типа на слоистую оптически прозрачную структуру уже в условиях полного внутреннего отражения (ПВО). Эти эффекты незеркального отражения и прохождения (туннелирования) становятся значительными для волнового пучка, падающего на слоистую структуру [1].

Хотя в оптике гауссовых пучков уже известно около 20 эффектов незеркального отражения, среди них наиболее активно изучается пространственный эффект Гуса–Ханхен. Для волны ТМ- или ТЕ-типа такое отклонение представляет собой продольное смещение отраженного пучка вдоль линии пересечения плоскости падения и плоскости границы раздела сред. Если же падение квазиплоской волны в условиях ПВО происходит на поверхность не полупространства, а оптически прозрачного слоя, то, вследствие неполного отражения (нарушенное ПВО) пространственный эффект Гуса–Хенхен может иметь место не только для отраженной, но также и для прошедшей через слой квазиплоской волны.

Одновременно с этим, в плоскости падения пучка направление оси как отраженной, так и прошедшей через слой квазиплоской волны, по сравнению с геометрической оптикой, также может изменять свое направление (на величину, обратно пропорциональную квадрату ширины падающего на слой гауссова волнового пучка), что отвечает угловому эффекту Гуса–Хенхен [1].

Анализ подобных оптических аномалий, безусловно, представляет не только чисто академический, но и несомненный практический интерес.

**Целью данной работы** является изучение невзаимных эффектов, сопровождающих угловые и пространственные эффекты Гуса–Ханчена, которые возникают при нормальном падении квазиплоской ТМ- или ТЕ-волны на гиротропную многослойную структуру в геометрии Фогта в результате одновременного разрушения пространственно-временной инверсия и зеркальной симметрии.

**Основная часть.** Наши исследования показывают, что ненулевой угловой эффект Гуса–Ханхен для отражения или прохождения (и пространственный эффект Гуса–Ханхен для прохождения) может возникать в случае нормального падения квазиплоской ТМ- или ТЕ-волны в геометрии Фогта на многослойную структуру, где зеркальная симметрия и симметрия инверсии пространства-времени одновременно отсутствуют. Эти эффекты являются невзаимными как по отношению к инверсии направления плотности статического магнитного потока, так и по отношению к перестановке негиротропных слоев, окружающих гиротропный слой. Аналогичные эффекты для одного гиротропного слоя в вакууме имеют место в случае асимметричного распределения равновесной намагниченности по толщине слоя.

Все вышеперечисленные эффекты также, безусловно, будут иметь место в случае нормального падения квазиплоской ТМ- или ТЕ-волны на поверхность слоя одномерного магнитного фотонного кристалла, где сочетание гиротропных и негиротропных слоев в элементарной ячейке таково, что спектр нормальных ТМ или ТЕ поляритонных волн, падающих в геометрии Фогта на неограниченную модель такого одномерного магнитного фотонного кристалла, является невзаимным по отношению к инверсии угла падения. Впервые показано, что если проекция внешнего постоянного электрического поля на нормаль к границе раздела сред отлична от нуля, то прохождение нормально падающего ТМ или ТЕ волнового пучка через гиротропный оптически прозрачный диэлектрический слой в симметричном окружении становится незеркальным.

**Заключение.** Для геометрии Фогта достаточным условием формирования незеркальных эффектов первого порядка как при прохождении, так и при отражении квазиплоской волны ТМ- (ТЕ) типа, нормально падающей на поверхность слоистой структуры, является асимметрия ее поляритонного спектра относительно инверсии направления распространения волны вдоль слоев.

## Список литературы

1. Yu. W. Magnetic control of Goos-Hanchen shifts in a yttrium-iron-garnet film / W. Yu, H. Sun and L. Gao // Scientific Reports. – 2017. – V.7, №45. – 45866 (11 pages).
2. Goos F. Ein neuer und fundamentaler Versuch zur Totalreflexion / F. Goos, H Hänchen // Ann. Phys. – 1947. – V. 436. – P. 333–346.

# ЗАВИСИМОСТЬ СТРУКТУРНЫХ, МАГНИТНЫХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТ ПРИСУТСТВИЯ ИОНОВ МАРГАНЦА В МУЛЬТИФЕРРОИКЕ $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ . ( $x = 0.05$ и $0.15$ )

**Тарасенко Т.Н.<sup>1</sup>**, канд. физ.-мат. наук,  
**Михайлов В.И.<sup>1</sup>**, канд. физ.-мат. наук,

**Каменев В.И.<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, Кравченко З.Ф.<sup>1</sup>,  
Бурховецкий В.В.<sup>1</sup>, Изотов А.И.<sup>1</sup>, Легенький Ю.А.<sup>2</sup>,**

**Янушкевич К.И.**<sup>3</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор,

Демиденко О.Ф.<sup>3</sup>, канд. физ.-мат. наук,

лесчин С.С.<sup>4</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор

Александр Семёнович, д. физ.-мат. наук, профессор  
и физико-технический институт им. А.А. Галкина», г.

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, ДП  
<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Луганский национальный университет», г. Луганск, ЛНР

<sup>3</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДПР  
<sup>3</sup>ГО «НПІ НАН Беларусь по материаловедению» г. Минск, Беларусь

ГУ «НИЦ НАН Беларусь по материаловедению», г. Минск, Беларусь  
ГАОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий»

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнега», г. Красноярск, РФ

им. академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ

*t.n.tarasenko@mail.ru*

**Введение.** Проблема получения однофазных мультиферроиков на основе феррита висмута состоит в том, что процесс синтеза  $\text{BiFeO}_3$  сопровождается низкой термической стабильностью перовскитной фазы и его частичной диссоциацией на  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$  и  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  [1]. Проблема однородного распределения небольших концентраций замещающей компоненты также имеет место.

При твердофазном синтезе  $\text{BiFeO}_3$  из смеси оксидов  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  происходит преимущественная диффузия висмута в частицу  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , поэтому реакция идет через образование  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ . Причиной этого является высокая скорость диффузии висмута через силленит-фазу ( $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ ), которая на несколько порядков выше, чем через другие фазы системы  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ – $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В [1] показано, что получение поликристаллического мультиферроика  $\text{BiFeO}_3$  высокой фазовой чистоты связано с использованием исходных веществ в наноразмерном состоянии. Основное преимущество золь-гель метода заключается в возможности получения материалов в виде наноразмерных порошков и высокой степени гомогенизации исходных компонентов.

**Цель работы –** 1) получение поликристаллических образцов твердых растворов  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  с высокой степенью однофазности;

2) изучение влияния замещения катионов  $Fe^{3+}$  катионами  $Mn^{3+}$  на кристаллическую структуру, магнитные и диэлектрические свойства образцов мультиферроика  $BiFeO_3$ , синтезированных золь-гель методом.

**Основная часть.** После проведения поисковых работ разработана методика синтеза. Исходными веществами для получения составов  $\text{BiFe}_1$ -

$\text{Mn}_x\text{O}_3$  выбраны металлы Fe, Mn и оксид  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (ОСЧ). Стехиометрические количества растворяли в разбавленной (1:1) азотной кислоте, выпаривали до влажных солей. Растворяли их в воде, получали водный раствор нитратов висмута, железа и марганца. В качестве гелеобразующего агента использовался раствор лимонной кислоты и этиленгликоля, который добавляли к раствору нитратов. Нагреванием продукта до 450°C удалялись органические соединения. Для получения объемных образцов в виде таблеток диаметром 8 мм, толщиной 1.5 мм полученные порошки измельчали и подвергали холодному изостатическому прессованию (~2 кбар) с последующим отжигом при 850°C (10 мин.).

Кристаллическую структуру и фазовый состав полученных образцов определяли рентгенографическим методом на дифрактометре DRON-3 в  $\text{Cu Ka}$ -излучении. Рентгеноструктурный анализ показал, что основной фазой синтезированных золь-гель методом образцов является соединение  $\text{BiFeO}_3$  с ромбоэдрической структурой (симметрия –  $\text{R}3\text{c}$ ) и несколько рефлексов малой интенсивности примесных фаз (5-7 % от основной фазы). Следует отметить, что с увеличением содержания марганца уменьшается и процентное содержание этих фаз.

Микроструктурные исследования были проведены с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-6490LV (JEOL, Япония). Результаты изучения морфологии поверхности излома образцов  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  ( $x=0, 0.05$  и  $0.15$ ) выявили, что с увеличением содержания марганца уменьшается средний размер гранул:  $d_{cp}=491$  нм для  $x=0$ ;  $d_{cp}=234$  нм для  $x=0.05$ ;  $d_{cp}=218$  нм для  $x=0.15$ .

Изучение особенностей удельной намагниченности  $\sigma$  в интервале температур  $100 \leq T \leq 850$  К осуществлено пондеромоторным методом в режимах нагревания и охлаждения образцов во внешнем магнитном поле с индукцией  $B=0.86$  Тл. Результаты изучения температурных зависимостей  $\sigma(T)$  позволяют утверждать, что в системе  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  в диапазоне концентраций  $0.05 < x < 0.15$  образцы обладают магнитными характеристиками, типичными для ферромагнетиков. Величины температур фазовых превращений «магнитный порядок – магнитный беспорядок» определялись из производной удельной намагниченности  $\sigma(T)$  по температуре. Для состава  $x=0.05$   $T_C=605$  К, для  $x=0.15$  –  $T_C=550$  К.

Электросопротивление измерялось прибором Щ-300 в интервале температур  $T_{\text{комн.}} \leq T \leq 523$  К. Образцы представляли собой диски с посеребренными торцами диаметром 8 мм и толщиной 1 мм. Из анализа результатов измерений следует, что  $\text{BiFeO}_3$  – диэлектрик во всем диапазоне температур. Составы, содержащие марганец, проявляют полупроводниковый тип проводимости во всем интервале температур. С увеличением концентрации марганца проводимость образцов возрастает: при концентрации  $x=0.05$  в 22 раза, а при  $x=0.15$  в 855 раз по сравнению с  $x=0$ . Определена ширина запрещенной зоны полупроводников  $\Delta E_g$ : для

$\text{BiFe}_{0.95}\text{Mn}_{0.05}\text{O}_3$  –  $\Delta E_g=1,03$  эВ, а  $\text{BiFe}_{0.85}\text{Mn}_{0.15}\text{O}_3$  –  $\Delta E_g=0.8$  эВ. Диэлектрические свойства образцов (см. таблицу) исследованы в конденсаторной ячейке с обкладками в виде дисков  $\varnothing$  8 мм LCR-метрами E7-8 (частота 1 кГц) и E7-12 (1 МГц). Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  определялась как отношение емкости ячейки с образцом  $C_x$  к емкости пустой ячейки  $C_{\text{air}}$  [2]:  $\epsilon_x=C_x/C_{\text{air}}$ ,  $C_x=(\epsilon_x\epsilon_0\cdot S)/d$ ,  $C_{\text{air}}=(\epsilon_{\text{air}}\epsilon_0\cdot S)/d$ ,  $\epsilon_0=8.85\cdot 10^{-12}\text{Ф/м}$ ,  $S$  – площадь обкладок и  $d$  – расстояние между обкладками.

Таблица

Диэлектрические параметры образцов  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$

x	1кГц (E7-8)			1МГц (E7-12)		
	$\text{tg}\delta$	$G, \mu\text{См}$	$\epsilon \pm \Delta\epsilon$	$\text{tg}\delta$	$G, \mu\text{См}$	$\epsilon \pm \Delta\epsilon$
0	0.2	3.3	$17.5 \pm 0.5$	0.019	1.97	$11.8 \pm 0.5$
0.05	0.17	1.5	$30.75 \pm 0.5$	0.022	3.15	$20.4 \pm 0.5$
0.15	0.1	2.05	$126.6 \pm 1.0$	0.025	3.37	$24.1 \pm 0.5$

**Заключение.** Выявлено, что с увеличением содержания марганца уменьшается средний размер гранул:  $d_{\text{cp}}=491$  нм для  $x=0$ ;  $d_{\text{cp}}=234$  нм для  $x=0.05$ ;  $d_{\text{cp}}=218$  нм для  $x=0.15$ . Анализ рентгенограмм показал, что увеличение содержания марганца приводит к стабилизации основной ромбоэдрической фазы R3c.

В системе  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  в диапазоне концентраций  $0.05 < x < 0.15$  образцы обладают типичными ферромагнитными характеристиками с температурами Кюри  $T_C=605$  К ( $x=0.05$ ) и  $T_C=550$  К ( $x=0.15$ ). Составы, содержащие марганец, проявляют полупроводниковый тип проводимости во всем интервале температур с шириной запрещенной зоны:  $\Delta E_g=1,03$  эВ ( $x=0.05$ ),  $\Delta E_g=0.8$  эВ ( $x=0.15$ ). С ростом  $x$  наблюдается увеличение диэлектрической проницаемости на частоте 1 кГц: для  $x=0.05$  – в 1,8 раза, а для  $x=0.15$  – в 7,2 по сравнению с  $\epsilon=17.5$  для  $\text{BiFeO}_3$ . На частоте 1 МГц – незначительный рост диэлектрической проницаемости.

Наличие фазовых превращений «магнитный порядок – магнитный беспорядок» при температурах выше комнатных в сочетании с полупроводниковыми свойствами делает перспективным использование составов  $\text{BiFe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{O}_3$  ( $x=0, 0.05$  и  $0.15$ ) в устройствах микроэлектроники.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Российского фонда фундаментальных исследований (проект №Ф18Р – 084).*

### Список литературы

- 1 Егорышева А.В. Синтез высокочистого нанокристаллического  $\text{BiFeO}_3$  / А.В. Егорышева, Т.Б. Кувшинова, В.Д. Володин и др. // Неорг. материалы. – 2013. – Т. 49, № 3. – С. 316-320.
- 2 Магнитные и диэлектрические свойства твердых растворов  $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{YMnO}_3$  / В.И. Михайлов, В.Т. Довгий, А.И. Линник и др. // Физика и техника высоких давлений. – 2018. – Т. 28, № 2 – С. 52-59.

**НИЗКОЧАСТОТНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ  
НАНОГРАНУЛИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ  $\text{Co}_x(\text{PZT})_{100-x}$**

**Тарасов Д.П.**, канд. физ.-мат. наук, доцент, **Ойченко Ю.О.**

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*demetriys@mail.ru*

Компонентами, исследуемой системы, являются металл Co, испытывающий переход в ферромагнитную фазу ниже 1394 К. Диэлектрическую матрицу формировали на основе известного сегнетоэлектрического соединения  $\text{Pb}_{0.81}\text{Sr}_{0.04}(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{0.15}(\text{Zr}_{0.575}\text{Ti}_{0.425})\text{O}_3$  (PZT), в котором переход в полярную фазу реализуется около 573 К [1].

Образцы для измерения внутреннего трения ( $Q^{-1}$ ) и упругого модуля (G) представляли пластины из кремния или ситалла с напыленным на одну из поверхностей композиционным материалом толщиной около 2 мкм. Образцы имели прямоугольную форму размером  $5 \times 18 \times 0,4$  mm<sup>3</sup>. Измерения температурных зависимостей G и  $Q^{-1}$  проводили методом затухания изгибных колебаний на частоте около 20 Hz.

Внутреннее трение рассчитывалось по формуле [2]:

$$Q^{-1} = \frac{1}{\pi N} \ln \frac{A_1}{A_N},$$

где N – число колебаний образца при изменении амплитуды от  $A_1$  до  $A_N$ .

Внутреннее трение композита определялось путем вычитания из внутреннего трения исследуемого образца внутреннего трения подложки.

Для измерения частоты колебаний использовался частотомер, показания которого служили для определения относительного модуля упругости:

$$G = \frac{f^2}{f_0^2},$$

где  $f^2$  и  $f_0^2$  – квадрат частоты колебаний образца при текущей и начальной температуре  $T_0$ , соответственно.

На кривых  $Q^{-1}(T)$ , полученных для свежеприготовленных образцов, в окрестностях 236 К обнаружен максимум внутреннего трения. Его высота зависит от объема металлической фракции, и возрастает с увеличением последней (рис. 1). Экспериментально полученным пикам  $Q^{-1}$  соответствует смягчение упругого модуля G (рис. 2).

Тот факт, что высота пика  $Q^{-1}$  растет с увеличением концентрации металлической фазы, свидетельствует о затухании механических

колебаний в аморфной структуре металлического сплава  $\text{Co}_x(\text{PZT})_{100-x}$ . Исследования внутреннего трения в сплавах с аморфной структурой показали наличие максимумов в диапазоне низких температур. Природа этого пика связывается с термоактивированной перестройкой атомной структуры аморфной металлической фазы под действием механических напряжений [3].

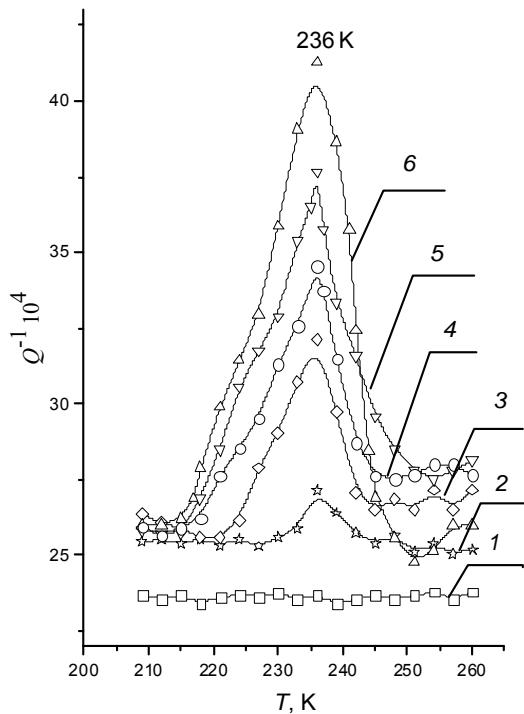


Рис. 1. Температурные зависимости  $Q^{-1}$  нанокомпозитов  $\text{Co}_x(\text{PZT})_{100-x}$  при различной концентрации металлической фазы  $x$ , at. %: 1 – 24, 2 – 30, 3 – 41, 4 – 61, 5 – 65, 6 – 70

Можно предположить, что наблюдаемые в материалах  $\text{Co}_x(\text{PZT})_{100-x}$  аномалии  $Q^{-1}$ , имеют одинаковую природу и связаны с перескоками атомов Со в металлических зернах под действием механических напряжений. В этом случае энергию активации релаксационного процесса можно оценить по формуле Верта:

$$E = kT_m \ln \frac{kT_m}{hf}.$$

Здесь  $T_m$  – температура максимума внутреннего трения,  $h$  – постоянная Планка,  $k$  – постоянная Больцмана.

Определенная таким образом по формуле Верта энергия активации, составила  $0,4 \pm 0,1$  eV. Величины энергии активации, определённой по формуле Верта хорошо согласуются с оценками энергии активации

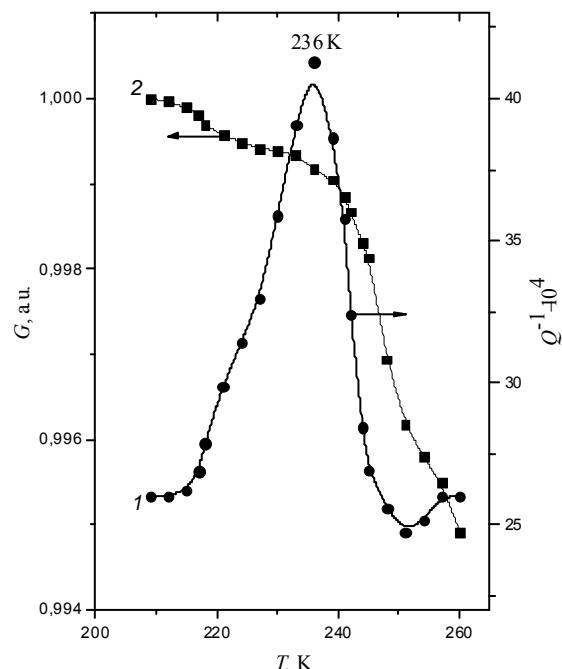


Рис. 2. Температурные зависимости  $Q^{-1}$  (кривая 1) и  $G$  (кривая 2) нанокомпозита  $\text{Co}_{70}(\text{PZT})_{30}$

упругой релаксации, сделанными по методу полуширины максимума  $Q'$  для соответствующих материалов [4-6].

Хорошее совпадение рассчитанных и полученных экспериментально значений энергии активации подтверждают предположение о том, что наблюдаемые максимумы внутреннего трения для всех исследуемых нанокомпозитов связаны с прыжковым движением атомов внутри металлических гранул.

В области температур, лежащей выше обсуждаемых максимумов внутреннего трения, обнаружено монотонное уменьшение модуля  $G$ , сопровождающееся ростом механических потерь с повышением температуры.

### **Список литературы**

- 1 Смоленский Г.А. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики / Г.А.Смоленский, В.А.Боков, В.А.Исупов и др. – Л.: Наука, 1971. – 476 с.
- 2 Постников В.С. Внутреннее трение в металлах / В.С.Постников. – М.: Металлургия, 1974. – 352 с.
- 3 Даринский Б.М., Калинин Ю.Е., Самцова Н.П. // Известия РАН. сер. Физическая. 1998. – Т.62. – №7. – С. 1359-1364.
- 4 Тарасов Д.П. // ЖТФ. 2017. Т. 87. № 9. – С. 1384-1388.
- 5 Tarasov D.P., Korotkov L.N., Sitnikov A.V // Ferroelectrics. 2010. V. 397. № 1. P. 185-190.
- 6 Тарасов Д.П., Калинин Ю.Е., Коротков Л.Н., Ситников А.В. // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35. Вып. 1. – С. 90-97.

УДК 539.211, 548.4

## **МОСТИКОВАЯ ГИДРАТАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ (111) ПЛАСТИНЫ КУБИЧЕСКОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ DFT**

**Токий Н.В.**, канд. физ.-мат. наук, **Гребенюк Н.А.**,

**Токий В.В.**, д-р физ.-мат. наук, профессор

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

*nvt1976@mail.ru*

**Введение.** Адсорбция воды на различных поверхностях диоксида циркония, теоретически рассматриваемая из первых принципов, являясь актуальной проблемой, привлекает внимание исследователей по настоящее время, например [1-4]. В последнее время возрастает как экспериментальный [5], так и теоретический [6] интерес к рассмотрению электрических явлений сопутствующих взаимодействию воды с поверхностью оксида.

**Цель** настоящей работы – начать теоретическое рассмотрение физических механизмов управления гидрофобностью на примере молекулы

мостиковой воды вблизи идеальных (без дефектов) поверхностных (111) слоев бесконечной пластины кубического диоксида циркония при изменении расстояния между водой и поверхностными слоями.

**Основная часть.** Для изучения особенностей мостикового гидратирования поверхности (111) пластины кубического диоксида циркония нами была построена атомная модель ячейки. В качестве формы ячейки выбран прямоугольный параллелепипед с ребрами  $\mathbf{a} \times \mathbf{b} \times \mathbf{c}$ , длина которых составляет  $a = 36.16175676042302$  bohr,  $b = 7.38148768880637$  bohr,  $c = 12.7851117124568$  bohr (1 bohr = 0.5291772108 angstroms). Ячейка, моделирующая гидратирование поверхности (111) диоксида циркония состоит из 6 атомов циркония, 13 атомов кислорода и 2 атомов водорода.

Моделирование мостикового гидратирования поверхности (111) пластины кубического диоксида циркония было выполнено в рамках теории функционала плотности (DFT) [7,8]. Мы использовали ABINIT [9] для реализации DFT [7], в приближении локальной плотности (LDA) для энергии обменной корреляции электронов, Troullier-Martins псевдопотенциал для Ti, O, H, и энергии обрезания для плоских волн – 60 Ha. Моделирование было проведено с помощью abinit-инструмента nanoHUB [10-12].

Изменение полной энергии  $E_{tot}$  при мостиковом гидратировании поверхности (111) диоксида циркония для различных положений  $d$  воды представлено на рисунке 1.

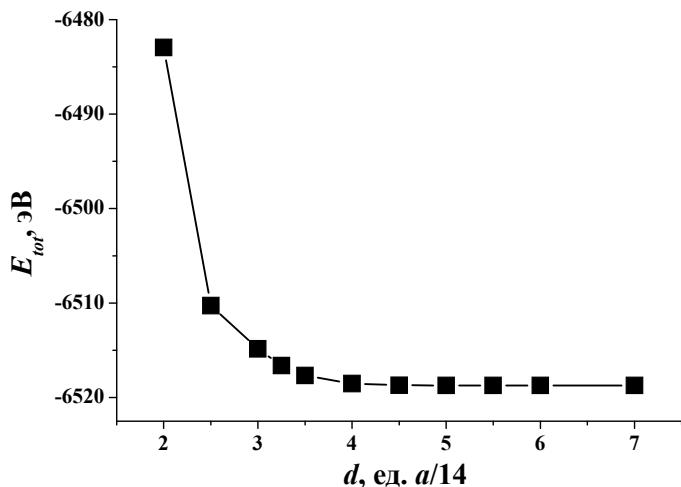


Рис. 1. Изменение полной энергии при мостиковом гидратировании поверхности 111 ZrO<sub>2</sub> для различных положений воды

Почти все решеточные динамические свойства твердых тел могут быть получены из знаний о полной энергии ( $E_{tot}$ ) твердых тел в зависимости от атомных позиций. Термин "полная энергия", используемый здесь, относится к общей энергии системы замороженных ядер. Кинетической энергией ядер пренебрегаем. Полная энергия кристалла в теории псевдопотенциалов может быть выражена

$$E_{tot} = E_{kin} + E_{loc} + E_{nonloc} + E_{corr-core} + E_H + E_{xc} + E_{Ew}$$

где  $E_{kin}$  – кинетическая энергия валентных электронов. Энергию взаимодействия валентных электронов с ионным остовом составляют:  $E_{loc}$  – локальная,  $E_{nonloc}$  – нелокальная и  $E_{corr-core}$  – энергия коррекции ионного остова. Энергию взаимодействия валентных электронов между собой составляют:  $E_H$  – Энергия Хартри валентных электронов и  $E_{xc}$  – Обменно-корреляционная энергия валентных электронов. Наконец классическая электростатическое кулоновское взаимодействие ионных остовов атомов ячейки друг с другом обозначена как  $E_{Ew}$  - энергия Эвальда.

**Заключение.** При контакте мостиковой воды с поверхностью (111) бесконечной пластины кубического диоксида циркония, т.е. при увлажнении (гидратации) этой поверхности обнаружено монотонное (без минимума) изменение полной энергии. Иными словами не возникает равновесное состояние мостиковой воды на идеальной без дефектов поверхности пластины.

### Список литературы

1. Chaopradith D.T. Adsorption of water on yttria-stabilized zirconia/ D.T. Chaopradith, D.O. Scanlon, C.R.A. Catlow, J. Phys. Chem.- 2015.- C119, P. 22526-22533 .
2. Silveri F., Hydrogen adsorption on transition metal carbides: a DFT study /F. Silveri, M.G.Quesne, A. Roldan, N.H. de Leeuw, C.R.A. Catlow// Phys. Chem. Chem. Phys.- 2019.- 21, N10.- P. 5335-5343 .
3. Hou B. The hydration structure at yttria-stabilized cubic zirconia (110)-water interface with sub-Ångström resolution/B. Hou, S. Kim, T. Kim, J. Kim, S. Hong, C.B. Bahn, C.Park, J.H. Kim// Scientific Reports.- 2016.- 6, -P. 27916.
4. Kouva S. Water and carbon oxides on monoclinic zirconia: experimental and computational insights /S. Kouva, J. Andersin, K. Honkala, J. Lehtonen, L. Lefferts, J. Kanervo// Phys. Chem. Chem. Phys.- 2014.- 16.- P. 20650 -20664.
5. Дорошкевич А. Эффект хемо-электронной конверсии энергии в нанопорошковых системах на основе диоксида циркония / А.Дорошкевич, А.И.Любчик, А.Шило, и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования.- 2017.- №5.- С. 48-55.
6. Токий Н.В. Терминальная гидратация поверхности 111 пластины кубического диоксида циркония методом DFT/ Н.В. Токий, Н.А. Гребенюк, В.В. Токий// Вестник Луганского национального университета им. Владимира Даля.- 2018.- № 5 (11), С. 57-61.
7. Hohenberg P. Inhomogeneous Electron Gas / P. Hohenberg, W. Kohn// Phys. Rev. - 1964.-136, 864B.
8. Tokiy N.V. /N.V.Tokiy, D.L.Savina, V.V.Tokiy//Тезисы международной конференции «Нано-биофизика: фундаментальные и прикладные аспекты». – Киев, 2011. – С. 157.
9. <http://www.abinit.org>
10. Nanohub tools at <http://www.nanohub.org>.
11. Klimeck Gerhard nanoHub. org: Advancing education and research in nanotechnology/G. Klimeck, G.B. Adams III, S.P. Brophy, M. McLennan, M.S. Lundstrom//Computing in Science and Engineering.-2008.-vol. 10, N5.- P.17-23.
12. Palaria A., ABINIT on nanoHUB/A. Palaria, X. Wang, B.P. Haley, M Mannino, G.Klimeck//ABINIT,".- (2016), <https://nanohub.org/resources/> ABINIT. (DOI: 10.4231/D30G3H028).

## ГИДРОКСИЛАЦИЯ В 001-ПЛАСТИНЕ ДИОКСИДА ТИТАНА МЕТОДОМ DFT

**Токий Н.В.**, канд. физ.-мат. наук,

**Токий В.В.**, д-р физ.-мат. наук, профессор, **Гребенюк Н.А.**

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

*nvt1976@mail.ru*

**Введение.** Диоксид титана широко используется в различных областях благодаря своим уникальным свойствам. Он является перспективным материалом для решения проблем водородной энергетики, имеет притягательный интерес как гетерогенный катализатор, а также как биосовместимый костный имплантат [1,2]. Интерес к исследованию диоксида титана сохраняется до сих пор [3].

**Цель** настоящей работы – начать теоретическое рассмотрение гидроксилации поверхности (100) диоксида титана со структурой анатаз.

**Основная часть.** Для изучения гидроксилации поверхности (100) диоксида титана со структурой анатаз нами была построена атомная модель ячейки пластины  $\text{TiO}_2$ . В качестве ячейки выбран прямоугольный параллелепипед с ребрами  $\vec{a} \times \vec{b} \times \vec{c}$ , длина которых составляет  $a = 50.0682903 \text{ bohr}$ ,  $b = 7.1526129 \text{ bohr}$ ,  $c = 17.9788531 \text{ bohr}$  (1 Bohr = 0.5291772108 Angstroms). Ячейка для моделирования гидроксилации диоксида титана состоит из 38 атома (12 атомов циркония, 1 атом водорода, 25 атомов кислорода).

Моделирование проведено в рамках теории функционала плотности (DFT) [4]. Мы использовали ABINIT [5] для реализации DFT [4], в приближении локальной плотности (LDA) для энергии обменной корреляции электронов, Troullier-Martins псевдопотенциал для Ti, O, H, и энергии обрезания для плоских волн – 60 Ha. Моделирование было проведено с помощью abinit-инструмента nanoHUB [6-8].

Полная энергия кристалла в теории псевдопотенциалов выражена суммой семи составляющих. Получены зависимости всех составляющих полной энергии ячейки пластины (100) диоксида титана для различных положений гидроксильной группы OH. Изменение полной энергии ячейки диоксида титана для различных положений гидроксильной группы представлено на рисунке 1.

Минимум полной энергии наблюдается при нахождении гидроксильной группы на расстоянии  $1.08/14a$  от металлической поверхности (100) анатаза. Иными словами, возникает равновесное состояние гидроксильной группы OH вблизи поверхности пластины.

Полученное распределение электронной плотности в ячейке анатаза при различных положениях гидроксильной группы позволило рассчитать

послойное распределение электронной плотности по направлению  $\vec{a}$ . На рисунке 2 представлено распределение электронной плотности ячейки анатаза с гидроксильной группой вблизи поверхности (100) пластины.

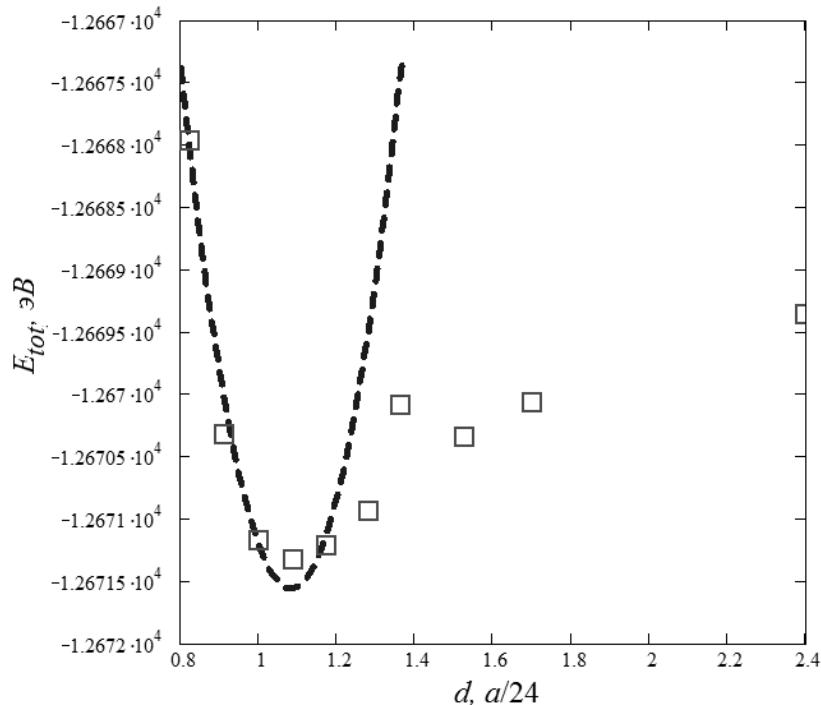


Рис. 1. Изменение полной энергии ячейки диоксида титана для различных положений гидроксильной группы

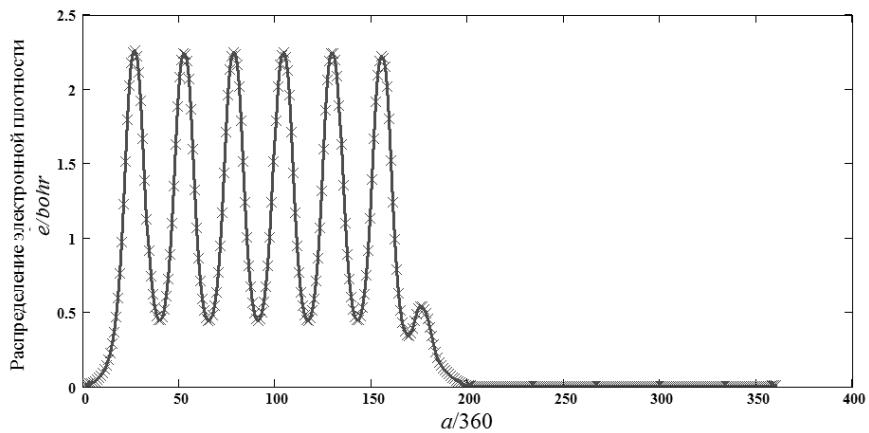


Рис. 2. Распределение электронной плотности по направлению  $\vec{a}$  в ячейке  $\text{TiO}_2$  с OH группой вблизи поверхности

На рисунке 3 представлено распределение электронной плотности ячейки анатаза с гидроксильной группой OH в положении отдаленном от поверхности (100) пластины.

**Заключение.** Предсказано равновесное состояние гидроксильной группы OH вблизи поверхности (100) анатаза. Установление физического механизма гидроксилации и гидратации анатаза потребует проведения экспериментальных и дальнейших теоретических исследований электрофизических свойств диоксида титана.

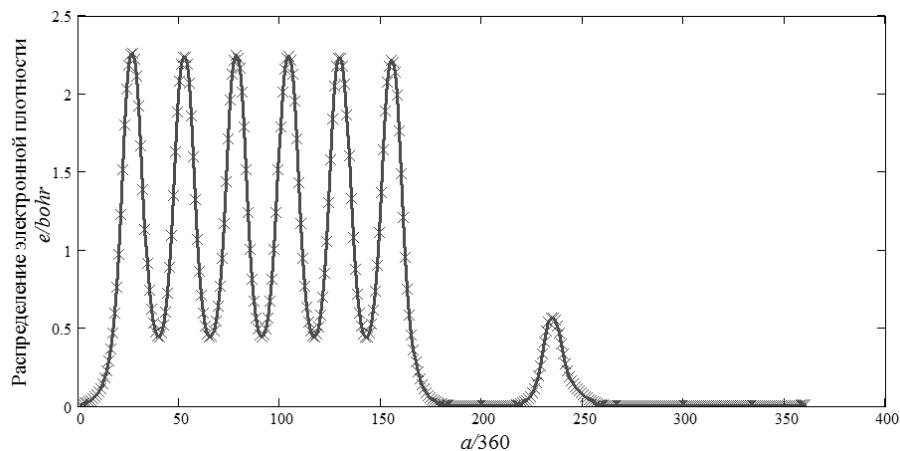


Рис. 3. Распределение электронной плотности по направлению  $\vec{a}$  в ячейке  $\text{TiO}_2$  с OH группой в положении отдаленном от поверхности

### Список литературы

1. Diebold Ulrike. The surface science of titanium dioxide//Surface Science Report. – 2003. – 48. – pp.53-229
2. Токий В.В. Компьютерное моделирование электронной структуры наночастиц диоксида титана с примесями азота, хлора и серы / В.В.Токий, Т.Е.Константинова, Н.В.Токий и др.// Сб. науч. трудов “Наносистемы, Наноматериалы, Нанотехнологии”.- 2004.- Т.2, Вып.3. – С. 849-854
3. Martinez-Casado R. First-Principles Study of the Water Adsorption on Anatase(101) as a Function of the Coverage/ R. Martinez-Casado, G. Mallia, N. M. Harrison, R. Pérez// J.Phys. Chem. C.-2018.- 122, (36).- P. 20736-20744
4. Hohenberg P. Inhomogeneous Electron Gas / P. Hohenberg, W. Kohn// Phys. Rev. -1964.- 136, 864B.
5. <http://www.abinit.org>
6. Nanohub tools at <http://www.nanohub.org>.
7. Gerhard Klimeck et al, Computing in Science and Engineering.- 2008.-vol. 10, N 5.- pp.17-23.
8. Palaria, X., "ABINIT on nanoHUB"/ Palaria, X. Wang, B. Haley, M Mannino, G.Klimeck.-2016.

УДК 615.849

## ГРУППОВАЯ СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В НЕИДЕАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКЕ МИКРОПОР

**Химченко Д.Г., Паладян Ю.А., Гуменник К.В.**, канд. физ.-мат. наук,  
**Румянцев В.В.**, д-р физ.-мат. наук, профессор  
ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
*paladyan0108@yandex.ru*

**Введение.** Большие перспективы в разработке устройств квантовой обработки оптической информации открывают исследования новых поля-

ритонных структур, важным свойством которых является возможность получения так называемого “медленного” света. В частности, эффективное уменьшение групповой скорости продемонстрировано в связанных волноводных оптических резонаторах. Ключевую роль в уменьшении групповой скорости в подобных системах играют так называемые темные и светлые поляритоны, представляющие собой суперпозицию фотонных состояний внешнего электромагнитного поля и макроскопических (когерентных) возмущений двухуровневой атомарной среды [1,2].

**Цель.** В данной работе, исходя из развитых авторами ранее представлений о неидеальных одномерных поляритонных структурах [2], рассматривается топологически упорядоченная цепочка пор – туннельно связанных микрорезонаторов. Выполнено численное моделирование спектра электромагнитных возбуждений в такой неидеальной двухподрешеточной цепочке микропор (резонаторов) с переменным периодом, причем одна из подрешеток в качестве атомарной подсистемы содержит квантовые точки. Исследованы особенности дисперсии электромагнитных возбуждений в такой системе, вызванные случайной вариацией расстояний между резонаторами. Изучена зависимость групповой скорости распространения элементарных возбуждений в данной системе микропор от концентрации структурных дефектов.

**Основная часть.** Расчет поляритонного спектра рассматриваемой системы проведен в приближении виртуального кристалла [3]. Конфигурационное усреднение массива микропор по всем возможным вариациям их положений «восстанавливает» трансляционную инвариантность исследуемой системы и позволяет перейти в  $k$ -представление с последующей диагонализацией гамильтониана путем применения процедуры Боголюбова-Тябликова [4]. Выполнение указанных операций приводит к следующему соотношению:

$$\begin{vmatrix} \hbar\omega_1^{at} - V_{11}(k) - \hbar\Omega(k) & 0 & g_1 & 0 \\ 0 & -\Omega(k) & 0 & 0 \\ g_1 & 0 & \hbar\omega_1^{ph} - \hbar\Omega(k) & -A_{12}(k) \\ 0 & 0 & -A_{21}(k) & \hbar\omega_2^{ph} - \hbar\Omega(k) \end{vmatrix} = 0 \quad (1),$$

позволяющему получить спектр поляритонных возбуждений  $\Omega(k)$  в приближении ближайших соседей. При численном моделировании спектра электромагнитных возбуждений полагаем, что частота возбуждения квантовой точки в узле равна:  $\omega_2^{at} = 2\pi \cdot 202 \text{ ТГц}$  (в рамках используемого приближения Гайтлера-Лондона  $\hbar\omega^{at} \gg V_{11}$ ), значения частот резонансных

фотонных мод, локализованных в микропорах решетки:  $\omega_1^{ph} = 2\pi \times 311 \text{ Гц}$  и  $\omega_2^{ph} = 2\pi \times 331 \text{ Гц}$ . Параметры, определяющие перекрытие оптических полей и взаимодействие квантовых точек в соседних микропорах взяты следующими:  $A_{12}[a_1(0)]/2\hbar = 3,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ ,  $A_{12}[a_2(0)]/2\hbar = 1,2 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ ,  $V_{11}/2\hbar = 1 \cdot 10^{13} \text{ Гц}$  при соответствующих положениях микропор  $a_1(0) = a_1^{(1)} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ,  $a_2(0) = a_2^{(1)} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ , период решетки  $d(0) = a_1(0) + a_2(0)$ .  $g_1$  – параметр резонансного взаимодействия квантовой точки в любом узле с локализованным в этом узле электромагнитным полем. Поверхности, описывающие дисперсионную зависимость частот  $\Omega_{1,2,3}(k, C_1, C_2)$  исследуемых поляритонных возбуждений в неидеальной решетке микрорезонаторов, содержащих в одной из подрешеток квантовые точки, представлены на рис.1а. Здесь  $C_1$ ,  $C_2$  – концентрации соответствующих положений микропор  $a_1(C_1)$ ,  $a_2(C_2)$ . При этом  $k$  изменяется в пределах первой зоны Бриллюэна (затемненная область  $(k, C_{1(2)})$  на рис.1а). Форма дисперсионной поверхности  $\Omega_3(k, C_1, C_2)$  на рис. 1а свидетельствует о возможности существования при определенных концентрациях дефектов структуры бозе-эйнштейновского поляритонного конденсата, благодаря наличию локального минимума при значениях  $k \neq 0$  (дополнительно к возможности существования конденсата при  $k = 0$ , на которую указывают поверхности  $\Omega_{1,2}(k, C_1, C_2)$ ). Немонотонный характер поляритонного спектра  $\Omega_{1,2,3}(k, C_1, C_2)$  данных неидеальных систем проявляется в особенностях зависимости групповой скорости  $V_{1,2,3}(k, C_1, C_2) = \frac{\partial \Omega_{1,2,3}(k, C_1, C_2)}{\partial k}$  исследуемых квазичастиц от концентрации структурных дефектов. На рис 1б приведены линии уровня  $V_{1,2,3}(k, C_2) = 0$  при соответствующих значениях величин  $C_1$  и  $g$ . Особый интерес, как было замечено выше, этот результат имеет при поиске возможности получения бозе-эйнштейновского поляритонного конденсата.

**Заключение.** Полученный в работе результат исследования групповой скорости электромагнитных возбуждений от концентрации структурных дефектов открывает возможность управления групповой скоростью данных элементарных возбуждений, а, следовательно, и скоростью передачи сигнала в соответствующем оптоэлектронном устройстве.

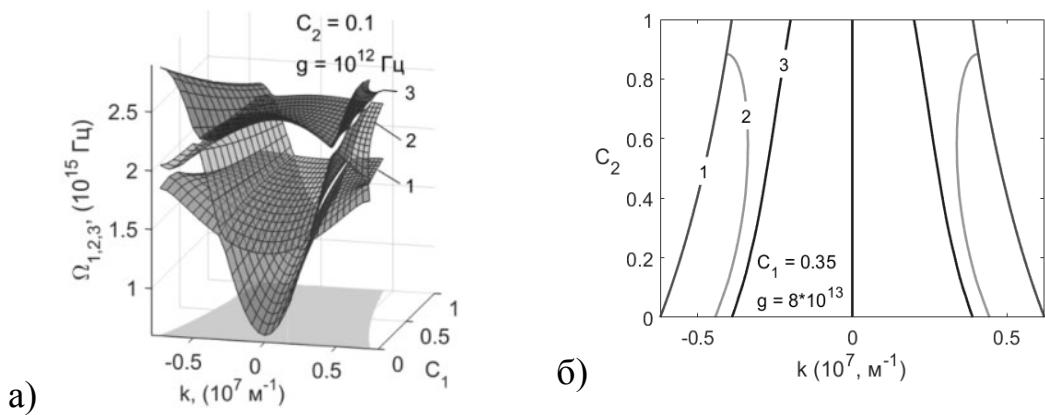


Рис. 1. а) – зависимость дисперсии поляритонов  $\Omega_{1,2,3}(k, C_1, C_2)$  от концентрации дефектов структуры для значений параметра  $g \equiv g_1/\hbar$ ;  
 б) – линии уровня  $V_{1,2,3}(k, C_2) = 0$

### Список литературы

1. Alodjants A.P. Strongly localized polaritons in an array of trapped two-level atoms interacting with a light field / A.P.Alodjants, I.O.Barinov, S.M. Arakelian // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 2010. V.43. P. 095502.
2. Rumyantsev V.V. Electromagnetic excitations in a non-ideal two-sublattice microcavity chain / V.V.Rumyantsev, S.A.Fedorov, K.V.Gumennyk, Yu.A.Paladyan // Physica B: Condensed Matter.2019. V. 571, 15. P. 296-300.
3. Займан Дж. Модели беспорядка / Дж.Займан. – М: Мир, 1982. – 592 с.
4. Агранович В.М. Теория экситонов / В.М.Агранович. – М.: Наука, 1968. – 382 с.

УДК 530.1

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВНЕЗЕМНОЙ ЖИЗНИ И ПАРАДОКСА ФЕРМИ

*Храмогин А.А., Петренко А.Г.*, д-р физ.-мат. наук, профессор  
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kf.tfnt@donnu.ru*

**Введение.** Предполагаемое существование разумной жизни вне Земли в XX веке стало значимой темой для массовой культуры. С начала 60-х годов ведутся систематические поиски следов существования этой жизни, однако, несмотря на предпринятые усилия, не были достигнуты сколь-нибудь существенные результаты, в связи с чем перед обществом предстаёт парадокс радиомолчания Вселенной.

**Цель** работы – рассмотрение истории поисков внеземной жизни, в частности, в рамках программы SETI, освещение текущей ситуации в этой области, оценка уравнения Дрейка, рассмотрение парадокса Ферми и возможных его объяснений.

**Основная часть.** Вопрос о существовании жизни вне Земли ещё с начала XX века приобрёл общественный резонанс. Возникновение такого жанра, как научная фантастика, ярко свидетельствует о возросшем интересе к данной теме. Не обошли вниманием этот вопрос и учёные. Так, К.Э. Циолковский ещё в 1933 писал: «В известной вселенной можно насчитать миллион миллиардов солнц. Стало быть, мы имеем столько же планет, сходных с Землёй. Невероятно отрицать на них жизнь. Если она зародилась на Земле, то почему же не появится при тех же условиях на сходных с Землёй планетах?» [1]. В разное время свои гипотезы о внеземном разуме выдвигали такие блестящие умы, как Ф.Дрейк, К.Саган и др.

В самом деле, учитывая масштабы Вселенной – только в нашей Галактике существует порядка 200-400 млрд. звёзд – статистически невероятно, чтобы жизнь на Земле была единственной в своём роде. Хотя, безусловно, для возникновения долгоживущих высокометаллических звёзд вроде Солнца, с планетными системами (звёздное население I) потребовалось несколько млрд. лет, а сама эволюция – довольно медленный процесс: жизнь зародилась около 3,8 млрд. лет назад, а резкое увеличение биоразнообразия и скорости развития – Кембрийский взрыв – произошло только 540 млн. лет назад. Интересно отметить параллелизм данного процесса с развитием техники, в частности, вычислительной: медленное накопление знаний и технологий, затем резкое ускорение процесса (сформулированное в виде закона Мура, в 1965 г.).

Всё это накладывает временные ограничения на возможность существования жизни. Вполне возможно объяснение парадокса Ферми таким способом: человечество – первая технически развитая цивилизация в нашей Галактике.

Парадокс Ферми был сформирован в 1950 г. в неформальной дискуссии физика Э. Ферми с коллегами в таком виде: «Если инопланетяне существуют, где они?». Учёный полагал, что мы должны наблюдать следы их деятельности: радиосигналы, зонды, космические корабли. Более формальное представление данная проблематика получила в виде уравнения Дрейка в 1960 г. В нём сделана попытка оценить количество цивилизаций, с которыми можно вступить в контакт:

$$N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L,$$

где  $R$  – средняя скорость формирования звёзд в Галактике;  $f_p$  – доля звёзд, имеющих планеты;  $n_e$  – среднее количество планет, способных поддерживать жизнь;  $f_l$  – доля планет, на которых жизнь зародилась;  $f_i$  – доля планет с жизнью, где зародился разум;  $f_c$  – доля планет с разумной жизнью, которые могут и хотят вступить в контакт;  $L$  – время жизни технически развитой цивилизации (время, которое она слушает или передаёт сообщения).

Так или иначе, основная роль уравнения Дрейка – привлечение общественного интереса – была выполнена, и 1960-е охарактеризовались

значительным энтузиазмом научного сообщества. Был начат ряд проектов, объединяемых под общим названием SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence, поиск внеземного разума) [2]. Они сводились к поиску сигналов искусственного происхождения на длине волны радиоизлучения 21 см – радиолинии нейтрального водорода. Набольшим успехом считается регистрация 15 августа 1977 г. т.н. сигнала «Wow!», который до сих пор не был объяснён естественными причинами. Однако же, надёжных свидетельств контакта пока что так и не было получено.

Были предприняты попытки отправить сообщение. В 1974 году сообщение, содержащее 1679 бит, было отправлено с гигантского радиотелескопа в Аресибо в Пуэрто-Рико в направлении шарового звездного скопления M13. На космические аппараты «Пионер-10» и «Пионер-11» по инициативе К. Сагана были установлены алюминиевые пластиинки с основной информацией о человечестве. На аппараты «Вояджер-1» и «Вояджер-2» были прикреплены информационные пластиинки с записями звуков, изображений, музыки.

Постепенно, государственное финансирование инициативы SETI сворачивалось, и сейчас она существует за счёт пожертвований. В 1999 г. была запущена программа SETI@home, использующая распределённые вычисления на персональных компьютерах участников.

Отсутствие надёжных результатов только укрепило парадокс Ферми. Для его разрешения предполагались следующие объяснения: человечество является первой разумной цивилизацией в Галактике; Земля уникальна, условия для возникновения сложной многоклеточной жизни слишком редки; внеземной разум не излучает на радиочастотах; любая технологически развитая цивилизация уничтожает себя (параметр  $L$  в уравнении Дрейка, время жизни технически развитой цивилизации) – и другие.

Наиболее тревожным, но вполне вероятным является последнее объяснение. Действительно, уже на нынешнем уровне развития человечество изобрело средства, способные уничтожить цивилизацию – в частности, ядерное оружие. Хотя оно и не угрожает существованию вида как такового, возможная ядерная война на фоне исчерпания природных ресурсов способна поставить человечество в такое положение, из которого высокоразвитая цивилизация уже не сможет возродиться.

**Заключение.** Таким образом, проблематика, которую перед нами ставят вопросы поиска внеземной жизни, актуальна, и остро стоит перед обществом, в силу политических разногласий на международной арене.

В любом случае, возможность обнаружения внеземного разума несёт за собой массу последствий для всех сфер познания, от биологии физики до философии, что приводит нас к необходимости продолжения наблюдений в рамках программы SETI и др. Следует также отметить, что гипотеза об искусственном, разумном происхождении тех или иных

явлений должна быть последней в ряду и рассматриваться только после того, как были признаны неверными все естественные.

### **Список литературы**

1. Циолковский К.Э. Планеты заселены живыми существами. / К.Э. Циолковский // Архив Академии Наук СССР, Московское отделение. – 1933. – 5 с.
2. Гиндилис Л.М. SETI: Поиск внеземного разума. / Л.М. Гиндилис – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2004. – 648 с.

УДК 543.623

## **ОСОБЕННОСТИ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ КЕРАМИКИ ScSZr, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СТРУКТУРОЙ И ПРИМЕСНЫМ СОСТАВОМ**

**Чайка Э.В.** канд. техн. наук, **Барбашов В.И.**, канд. физ.-мат. наук  
ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк, ДНР  
*ceramics@mail.ru*

Изучение электрофизических свойств керамических электролитов необходимо для создания твердотельных топливных элементов. Считается, что среди керамических электролитов на основе диоксида циркония  $ZrO_2$  –  $Me_2O_3$  наибольшей удельной проводимостью обладает керамика в системе  $ZrO_2$  –  $Sc_2O_3$  (ScSZr).

Ранее нами были проведены исследования ионной проводимости при полиморфных фазовых переходах керамики  $xScSZr$  ( $x = 8-20$  мол. %  $Sc_2O_3$ ) [1]. В исходном состоянии керамика находилась в кубической и ромбоэдрической ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ) фазах. Измерение ионной проводимости проводили в режиме циклического нагрева и охлаждения в условиях приложения к образцу одноосной нагрузки. Было установлено, что в результате первого цикла нагрева и охлаждения происходит формирование высокопроводящей ромбоэдрической фазы, проводимость которой при  $400^0C$  выше почти на порядок выше, чем в исходном состоянии. Полученные значения проводимости у такого упорядоченного состояния превышают примерно в три раза удельную проводимость керамики 10ScSZ, которая по литературным данным обладает наивысшей проводимостью.

Целью данной работы явилось изучение влияния примесного состава и процесса упорядочения кристаллитов при фазовом переходе под действием приложенного внешнего механического напряжения на проводимость керамики ScSZr. Методики измерений и приготовления образцов описаны в [2].

Влияние примесного состава на проводимость изучали на образцах 10ScSZ и 10Sc1CeSZ (DKKK), находящихся в кубической фазе и

отличающихся концентрацией примесей. Полученные из импедансных измерений зависимости удельной проводимости от обратной температуры показывают, что в исследуемом диапазоне температур удельная электропроводность более чистого электролита в три раза выше, чем примесного (рис. 1). Концентрация сопутствующих примесей влияет и на характер температурных зависимостей объемной  $\rho_b$  и зернограницной  $\rho_{gb}$  составляющих удельного сопротивления. Из рис. 2 видно, что рост температуры приводит к существенному уменьшению зернограницной составляющей сопротивления.

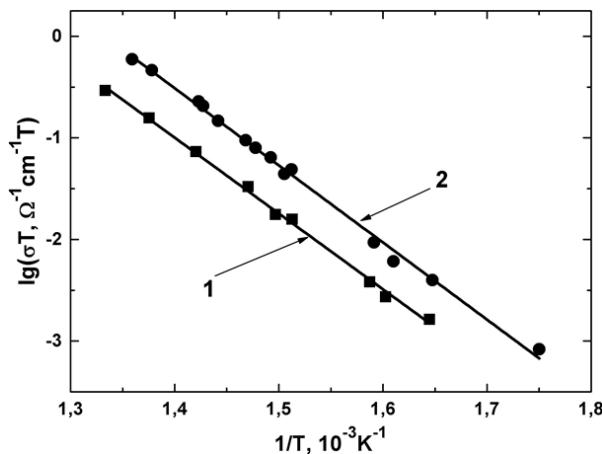


Рис. 1. Влияние примесей на проводимость электролитов при различной температуре: 1 – 10ScSZ (содержание примесей < 0,05 мол.-%); 2 – 10Sc1CeSZ, DKKK (содержание примесей < 0,01 мол.-%)

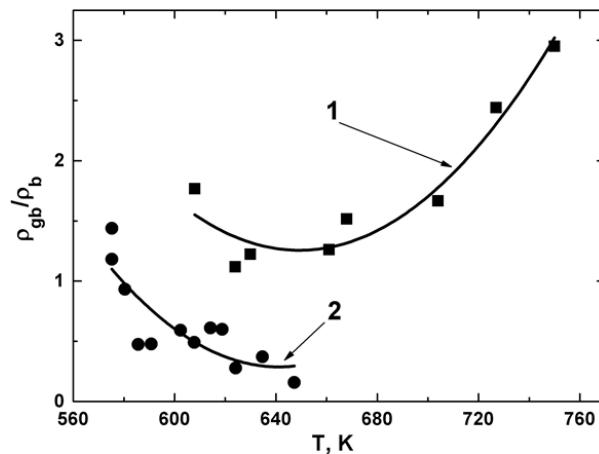


Рис. 2. Температурная зависимость отношения зернограницной  $\rho_{gb}$  и объемной  $\rho_b$  составляющих удельного сопротивления твердых электролитов: 1 – примесного 10ScSZ; 2 – чистого 10Sc1CeSZ (DKKK)

Затем были проведены исследования проводимости керамики 12ScSZ после образования в ней в результате цикла нагрев-охлаждение высокопроводящей ромбоэдрической фазы. Измерение проводимости в направлении ортогональном к исходному показало меньшую проводимость (при  $T=400^0\text{C}$  удельная проводимость уменьшилась более чем на порядок), что свидетельствует об анизотропии свойств керамики, возникшей при полиморфном переходе под действием механической нагрузки.

На рис. 3 приведены рентгенограммы, снятые для одной поверхности образца состава 12ScSZ, находящегося в исходном состоянии (1) и после проведения серии измерений (2). Вид спектров показывает, что в обоих случаях при комнатной температуре образец находится в ромбоэдрической фазе. Изменение относительной величины пиков интенсивности указывает на упорядочение кристаллитов при фазовом переходе под действием приложенного внешнего механического напряжения.

На возможность формирования упорядоченного состояния указывают и результаты импедансной спектроскопии образцов (рис. 4).

Видно, что для индуцированного под действием внешней механической нагрузки при полиморфном переходе высокопроводящего состояния керамики (2) характерно меньшее значение объемного сопротивления по сравнению с исходным состоянием (1).

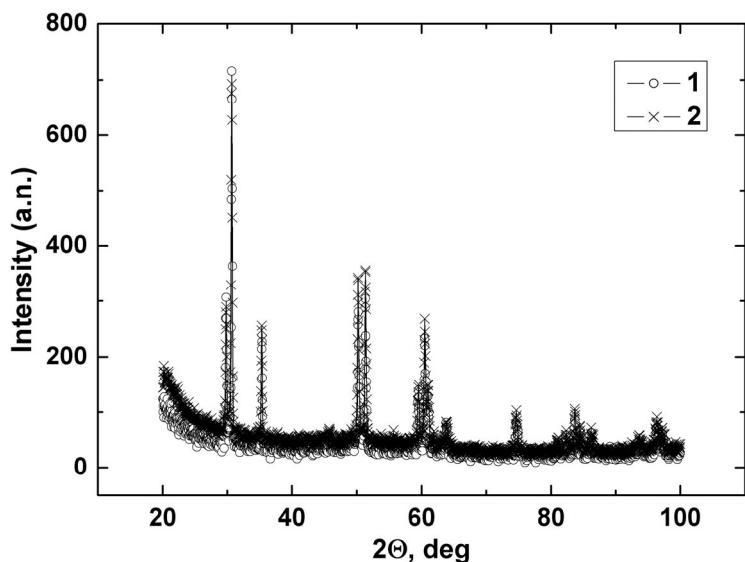


Рис. 3. Рентгеновские спектры образца 12ScSZ: 1 – в исходном состоянии; 2 – после проведения серии измерений ионной проводимости

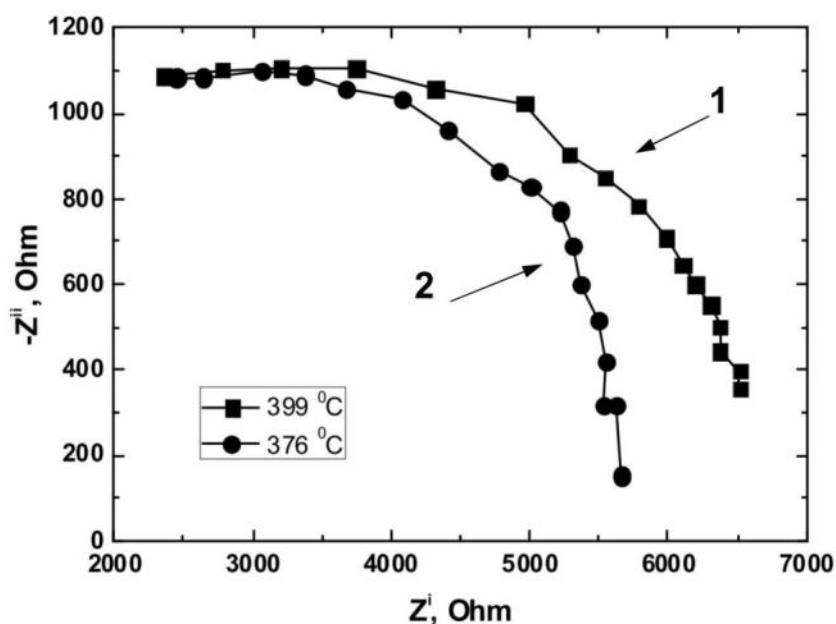


Рис. 4. Импедансные спектры образца 12ScSZ до (кривая 1) и после полиморфного перехода под нагрузкой (кривая 2)

Тестовые испытания при  $T=500^{\circ}\text{C}$  в течение 100 час. показали стабильность электрических характеристик образца, что делает перспективным использование данного материала для создания твердотельных топливных элементов и  $\lambda$ -датчиков.

## Список литературы

1. Barbashev V.I. Conductivity of ScSZ ceramics in vicinity of polymorphic phase transitions / V.I. Barbashev, E.V. Chaika // ECS Trans. – 2019. – V.91, №1. – P. 1185-1192.
2. Барбашов В.И. Особенности ионной проводимости керамики ScSZr при полиморфном фазовом переходе  $\alpha \leftrightarrow \beta$  под нагрузкой / В.И.Барбашов, Э.В.Чайка // Физика и техника высоких давлений. – 2019. – Т.29, №2. – С. 48-55.

УДК 536; 539.21; 538.911

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО АНГАРМОНИЗМА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЫ

*Шелест В.В.*, канд. физ.-мат. наук, *Христов А.В.*, канд. физ.-мат. наук,  
ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина», г. Донецк, ДНР  
*esbj@list.ru*

**Введение.** Принципиальным положением, на которое опираются авторы при изучении ангармонизма в конденсированных средах, является то, что ангармонизм как явление имеет комплексный характер и неразрывно связан с устойчивостью равновесного состояния системы. При этом ангармонизм рассматривается именно в комплексном виде, то есть, наряду с гармонической частью гамильтониан осциллятора содержит как линейный член, так и нелинейные составляющие. Более того, линейная часть должна присутствовать обязательно, а нелинейные, по крайней мере, должны быть третьей и четвертой степеней.

Изменение упругости среды связано как с простым расширением (собственный ангармонизм – термическое изменение объема кристалла), так и с изменением силы химических связей между элементами твердого тела.

**Цель** – получить различные формы детерминанта устойчивости фазового состояния ( $D_y$ ) в зависимости от различных термодинамических коэффициентов (ТК), описывающих физические свойства системы и выраженных через параметры, характеризующие ангармонические свойства среды.

**Основная часть.** Общий подход можно сформулировать следующим образом. За основу берутся такие макроскопические параметры, как ТК, описывающие термические и механические свойства среды, комбинация которых образует наиболее универсальную характеристику термодинамической системы –  $D_y$ . Мы переопределяем их в терминах ангармонизма и далее, в отличие от базовой теории устойчивости термодинамического равновесия, рассматриваем в качестве переменных величин.

Базовое положение теории устойчивости термодинамического равновесия [1,2] гласит, что необходимым и достаточным условием однородного состояния системы является положительная комбинация

конечных разностей соответствующих термодинамических переменных  $(T, P, S, V)$ , связывающих два близких равновесных состояния. Эта комбинация определяет матрицу устойчивости, детерминант которой

$$\begin{vmatrix} \Delta T & \Delta P \\ \Delta V & \Delta S \end{vmatrix} = \Delta T \Delta S - \Delta P \Delta V > 0, \quad (1)$$

позволяет рассмотреть различные частные случаи равновесия фазы системы.

На основе матрицы устойчивости в качестве частного случая можно получить достаточное, но не необходимое условие устойчивости фазы. Удобно рассмотреть выражение (1) в переменных  $(S, V)$ , положив

$$\begin{aligned} \Delta T \approx dT(S, V) &= \left( \frac{\partial T}{\partial S} \right)_V dS + \left( \frac{\partial T}{\partial V} \right)_S dV, \quad \Delta S \approx dS, \\ \Delta P \approx dP(S, V) &= \left( \frac{\partial P}{\partial S} \right)_V dS + \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S dV, \quad \Delta V \approx dV. \end{aligned} \quad (2)$$

В результате подстановки (2) в (1) получаем квадратичную форму, детерминант которой  $D_y$ , называемый детерминантом устойчивости [1,2]:

$$D_y = - \begin{vmatrix} \left( \frac{\partial T}{\partial S} \right)_V & \left( \frac{\partial T}{\partial V} \right)_S \\ \left( \frac{\partial P}{\partial S} \right)_V & \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_S \end{vmatrix} = \frac{\partial(T, -P)}{\partial(S, V)} > 0. \quad (3)$$

Можно показать [1–8], что в диагональном представлении  $D_y$ , записанный через термодинамические производные, выражается в конечном виде через следующие коэффициенты:

$$D_y = \left( \frac{T}{C_P} \right) \left( \frac{K_S}{V} \right) = \left( \frac{T}{C_V} \right) \left( \frac{K_T}{V} \right). \quad (4)$$

В (4) ангармонизм содержится в скрытой форме. Опираясь на такие параметры, как  $\alpha_P$  – изобарический коэффициент теплового расширения, и параметр Грюнайзена [6,7,9]  $\gamma_G$ ,  $D_y$  выражается через параметры ангармоничности. Параметры  $\gamma_G$  и  $\alpha_P$  характеризуют комплексное ангармоническое состояние системы и связаны соотношением Грюнайзена [6–9]

$$\gamma_G = \left( \frac{V}{C_V} \right) \alpha_P K_T, \quad (5)$$

где  $K_T$  – изотермический коэффициент упругости.

В терминах ангармонизма  $D_y$  приобретает вид [6–9]:

$$D_y = \frac{T}{V^2} \frac{\gamma_G}{\alpha_P} = \frac{(\gamma - 1)}{(V \alpha_P)^2} = \frac{-1}{(V^2 \alpha_P \alpha_S)}. \quad (6)$$

Очевидно, в общем случае параметры ангармонизма  $\gamma_G$ ,  $\alpha_P$  зависят от температуры и давления.

Термодинамика равновесных процессов позволяет наряду с формулами (6) найти и альтернативные соотношения, используя калориметрические коэффициенты [9]. В частности, используя коэффициенты, которые определяются на множестве  $(V, T)$ , когда  $P = \text{const}$ , а также, соответственно, на множестве  $(P, T)$ , когда  $V = \text{const}$ , получаем:

$$l_T^{(P)} = \left( \frac{\partial Q}{\partial V} \right)_T = \left( \frac{T}{V} \right) C_V \gamma_G, \quad (8)$$

$$l_T^{(V)} = \left( \frac{\partial Q}{\partial P} \right)_T = -TV \alpha_P. \quad (9)$$

Детерминант устойчивости при этом, учитывая также теплоту изобарического расширения  $m_p^{(T)}$  и теплоту изохорического сдавливания  $m_V^{(T)}$  на множестве  $(P, V)$  [9] выглядит так:

$$D_y = -\frac{T}{C_V} \frac{l_T^{(P)}}{l_T^{(V)}} = \frac{T}{C_P} \frac{m_p^{(T)}}{m_V^{(T)}}. \quad (10)$$

**Заключение.** Показано, что явление ангармонизма присуще всем динамическим явлениям в конденсированной среде. Так как  $D_y$  отвечает за фазовое равновесие термодинамической системы, приходим к выводу, что фазовое состояние определяется комплексной ангармоничностью через термодинамические коэффициенты механического и теплового типа. Это, в свою очередь, позволяет описывать фазовые превращения сложных систем непосредственно в терминах ангармонизма.

## Список литературы

1. Базаров И.П. Термодинамика / И.П.Базаров. – М., «Высшая школа», 1991.
2. Семенченко В.К. Избранные главы теоретической физики / В.К.Семенченко. – М., «Просвещение», 1966.
3. G. Levchenko, A. Khristov, V. Kuznetsova, V. Shelest. J. Phys. Chem. Solids, vol. 75, p. 966 (2014).
4. V.V. Shelest, A.V. Hristov, A.Yu. Prokhorov, D.A. Chervinskii. JPM, vol. 1, p. 40 (2015).
5. В.В. Шелест, А.В. Христов, ГГ. Левченко. ФНТ, т. 42, с. 644 (2016).
6. В.В. Шелест, Д.А. Червинский, А.В. Христов. ФТВД, т. 27, № 1, с. 117 (2017).
7. В.В.Шелест, А.В.Христов, Д.А.Червинский. ФТВД, т. 28, № 3, с. 54 (2018).
8. Шелест В.В., Христов А.В., Червинский Д.А. Вестник Луганского Национального Университета им. В.Даля №5(11), с.144 (2018).
9. В.В.Шелест, А.В.Христов. ФТВД, т. 29, №4 (2019) (в печати).

УДК 514.7; 514.74; 514.76; 517.1; 517.2; 536; 536.7; 536.71.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВНЕШНИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ФОРМ К СИСТЕМАМ С ПЕРЕМЕННЫМ ЧИСЛОМ ЧАСТИЦ

**Шелест В.В.**, канд. физ.-мат. наук, **Червинский Д.А.**

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина», г. Донецк, ДНР  
*chervin@dfti.donbass.com*

**Введение.** В последнее время при изучении конденсированного состояния вещества, подверженного различным возмущающим его факторам и в связи с развитием экспериментальных и теоретических исследований, проводимых на стыке различных научных направлений, значительный интерес представляют работы, связанные с фундаментальным подходом, позволяющим с нетрадиционной точки зрения взглянуть на известные закономерности поведения вещества и прогнозировать явления, ранее не изучавшиеся.

С этой точки зрения мотивация использования соответствующей математической дисциплины и ее актуальность, обусловленные стремлением найти наиболее эффективные математические средства и способы для описания свойств вещества, являющиеся эвристически весомыми и фундаментальными, вполне очевидны.

**Цель работы:** продемонстрировать методологические аспекты применения аппарата исчисления внешних дифференциальных форм в физике на примере термодинамики. В частности, получить соотношения между термодинамическими коэффициентами для систем с переменным числом частиц. Показать, что принципы, на которых основывается применение внешних дифференциальных форм, расширяют возможности получения термодинамических связей между коэффициентами, характеризующими физические свойства систем, и являются более эффективными по сравнению с исчислением прямых дифференциальных форм.

**Уравнение Дюгема-Гиббса в исчислении внешних дифференциальных форм и его решения.** Уравнение Дюгема-Гиббса [1-4] в исчислении внешних дифференциальных форм представляет собой комбинацию 1-форм для интенсивных термодинамических величин с коэффициентами из экстенсивных переменных. По форме оно совпадает с выражением в прямом дифференциальном исчислении (с заменой прямого дифференциального оператора  $d$  на оператор внешнего дифференцирования  $\tilde{d}$ ) [1,2]. Наиболее простой вид это уравнение имеет в случае однокомпонентной системы с переменным числом частиц:

$$S\tilde{d}T - V\tilde{d}P + N\tilde{d}\mu = 0 \quad (1)$$

Подействуем на равенство (1) оператором внешнего дифференцирования  $\tilde{d}$ . В результате стандартных преобразований [1-4] получим уравнение, связывающее 6 переменных ( $S, T, V, P, N, \mu$ ):

$$\tilde{d}S \Lambda \tilde{d}T - \tilde{d}V \Lambda \tilde{d}P + \tilde{d}N \Lambda \tilde{d}\mu = 0 \quad (2)$$

Равенство (2) содержит 2-формы, каждая из которых включает в себя экстенсивную и интенсивную переменную.

Из соотношения (2) при соответствующем выборе постоянных величин следуют три уравнения. Так, при  $S = const$  либо  $T = const$ ; при  $V = const$  либо  $P = const$ ; при  $N = const$  либо  $\mu = const$  соответственно получаем:

$$\tilde{d}V \Lambda \tilde{d}P = \tilde{d}N \Lambda \tilde{d}\mu \quad (3)$$

$$\tilde{d}S \Lambda \tilde{d}T = -\tilde{d}N \Lambda \tilde{d}\mu \quad (4)$$

$$\tilde{d}S \Lambda \tilde{d}T = \tilde{d}V \Lambda \tilde{d}P \quad (5)$$

Последнее равенство детально разобрано в статьях [1-4]. Из соотношений (3)-(5) вытекает, что якобианы переходов от одних переменных к другим равны  $\pm 1$ , а именно:

$$\partial(V, P) / \partial(N, \mu) = 1 \quad (6)$$

$$\partial(S, T) / \partial(N, \mu) = -1 \quad (7)$$

$$\partial(S, T) / \partial(V, P) = 1 \quad (8)$$

Методику доказательства соотношения (8) можно найти в [1-3].

Как примеры, докажем равенство (6), а также выведем одно из решений уравнения (3).

Примем за независимые переменные  $N$  и  $\mu$ . Тогда из 0-форм (функций)  $P = P(N, \mu), V = V(N, \mu)$  получаем внешние дифференциалы (1-формы)

$$\tilde{d}P = (\partial P / \partial N)_{\mu} \tilde{d}N + (\partial P / \partial \mu)_{N} \tilde{d}\mu,$$

$\tilde{d}V = (\partial V / \partial N)_{\mu} \tilde{d}N + (\partial V / \partial \mu)_{N} \tilde{d}\mu$ . Подставляя эти выражения в (3) и выполняя преобразования по правилам исчисления внешних дифференциальных форм [1-3], будем иметь

$$\tilde{d}N \Lambda \tilde{d}\mu \cdot \frac{\partial(P, V)}{\partial(\mu, N)} = \tilde{d}N \Lambda \tilde{d}\mu \quad (9)$$

Отсюда при условии  $dN \Lambda \tilde{d}\mu \neq 1$  следует (6). Аналогично доказываются равенства (7) и (8).

Если при решении уравнения (3) за независимые переменные принять  $(P, \mu)$ , то 0-формами будут функции  $V = V(P, \mu)$  и  $N = N(P, \mu)$ . Соответствующими 1-формами выступят  $\tilde{d}V = (\partial V / \partial P)_{\mu} \tilde{d}P + (\partial V / \partial \mu)_{P} \tilde{d}\mu$  и  $\tilde{d}N = (\partial N / \partial P)_{\mu} \tilde{d}P + (\partial N / \partial \mu)_{P} \tilde{d}\mu$ . Подставляя последние в (3), после преобразований придем к равенству

$$\left( \frac{\partial V}{\partial \mu} \right)_P \tilde{d}\mu \Lambda \tilde{d}P = \left( \frac{\partial N}{\partial P} \right)_{\mu} \tilde{d}P \Lambda \tilde{d}\mu \quad (10)$$

из которого следует соотношение

$$\left( \frac{\partial V}{\partial \mu} \right)_P = - \left( \frac{\partial N}{\partial P} \right)_\mu \quad (11)$$

Очевидно, что если в уравнении (3) независимыми переменными выбрать  $(V, N)$ , то в результате соответствующей процедуры получим связь

$$\left( \frac{\partial \mu}{\partial V} \right)_N = - \left( \frac{\partial P}{\partial N} \right)_V \quad (12)$$

Легко показать методом якобианов, что как из (11), так и из (12) следует равенство (6).

Продемонстрированная методология применима также для решения уравнений (3)-(5) при любом выборе независимых переменных из числа входящих в эти равенства. Более того, такой способ позволяет найти решение уравнения (2) в том числе для случаев, когда ни одна из шести переменных не является константой.

**Заключение.** Продемонстрированы возможности и эффективность исчисления внешних дифференциальных форм, когда в основу положены термодинамические принципы. В частности, из уравнения Дюгема-Гиббса, записанного с помощью внешних дифференциалов (1-форм), получено равенство для 2-форм, из которого, в свою очередь, следуют многие соотношения термодинамики, что и продемонстрировано в работе.

### Список литературы

1. Shelest V.V., Hristov A.V., Chervinskii D.A. Thermodynamic Potential Theory Aspects in External Differential Forms Calculus Representation. Journal of Photonic Materials and Technology. Vol. 3, No. 2, 2017, pp. 6-13.
2. 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 // ФТВД. – 2017. – 27, №4. – С.5-49.
3. Шелест В.В. Применение исчисления дифференциальных форм в термодинамике. Часть 2. Определение соотношений между термодинамическими коэффициентами на основе исчисления внешних дифференциальных форм / В.В.Шелест, Д.А.Червинский // ФТВД. – 2018. – 28, № 4. – С.83-107.
4. Шелест В.В. Применение исчисления дифференциальных форм в термодинамике. Часть 3. Нетривиальные способы решения основного уравнения термодинамики методами исчисления внешних дифференциальных форм / В.В.Шелест, Д.А.Червинский // ФТВД. – 2019. – 29, № 1. – С.5-27.

# **Радиофизика и инфокоммуникационные технологии**

004.032.26

## **НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В СИСТЕМАХ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Бабичева М.В., Данилов В.В.,** д-р техн. наук, профессор, **Юрченко А.С.**  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*m.v.babicheva60@gmail.com*

Особое значение для повышения эффективности науки приобретает автоматизация научных исследований, позволяющая получать более точные и полные модели исследуемых объектов и явлений, например, в криминалистике, при обработке изображений отпечатков пальцев.

**Распознавание отпечатков пальцев нейронной сетью.** В настоящее время нейронные сети широко применяются в биометрических системах проверки подлинности, в том числе для распознавания изображений отпечатков пальцев [1-4].

Целью настоящей работы является исследование качества распознавания отпечатков пальцев нейронными сетями различного типа и структуры, выбор наиболее подходящей для данного класса задач архитектуры нейронной сети. Практическая ценность работы заключается в возможности применения рассмотренных архитектур в автоматизированных системах научного эксперимента, системах контроля и управления доступом для повышения качества распознавания, по сравнению с существующими технологиями [3].

**Методика компьютерных экспериментов.** Признаки изображений отпечатков пальцев, предъявляемые для распознавания, выделялись методом детектирования углов Харриса с предварительной фильтрацией, бинаризацией и скелетизацией [5]. Программная реализация и моделирование нейронных сетей производилась в среде Neural Networks.

Для экспериментов были отобраны девять архитектур нейронных сетей с различными параметрами. Это, три сети типа FF (однонаправленная сеть, обучаемая с применением алгоритма обратного распространения с заданным количеством итераций 1000, и целевой ошибкой 0.001) с разным количеством скрытых слоев и нейронов, RBF1 – радиально-базисная сеть с нулевой ошибкой и RBF2,3 – радиально-базисные сети с ненулевой ошибкой и разным значением параметра ширины активационной функции spread – 0.2, 0.7, три сети типа GRNN (обобщенная регрессионная нейронная сеть), с разными значениями параметра spread – 0.2, 0.7, 1. Параметры сетей были подобраны в ходе экспериментов. Сети

обучались на векторах из 200 признаков, выделенных из отпечатка пальца одного человека, представленных в виде матрицы 200x2.

На обученную сеть подавались признаки, извлеченные из другого отпечатка того же человека и признаки, извлеченные из отпечатка другого человека. Затем выходные матрицы признаков сравнивались, и те признаки, разница между которыми не превышала 30 пикселей считались распознанными правильно. Полученные результаты сравнивались с результатами распознавания известным алгоритмом простого сравнения векторов признаков двух изображений. Пороговое значение 30 было найдено экспериментально, и соответствовало заданному критерию для алгоритма простого сравнения выделенных признаков. Кроме того, выходные вектора признаков на которых проводилось обучение и полученные в процессе распознавания выводились на график для визуального контроля.

**Результаты.** Результаты распознавания отпечатков пальцев нейронными сетями различной архитектуры представлены в таблице.

Таблица  
Результаты распознавания отпечатков пальцев

№	Тип нейронной сети	Количество правильно распознанных признаков 2-х отпечатков одного человека, %	Количество распознанных признаков 2-х отпечатков разных людей, %
1	FF1	21,7	0,010
2	FF2	47,5	0,010
3	FF3	16,4	0,020
4	RBF1	99,5	0,000
5	RBF2	90,1	0,010
6	RBF3	79,4	0,010
7	GRNN1	89,5	0,005
8	GRNN2	77,5	0,005
9	GRNN3	68,5	0,010

Количество правильно распознанных признаков отпечатков одного человека алгоритмом простого сравнения – 95,7 %, количество распознанных признаков отпечатков разных людей – 0,005. Лучшие результаты показала только одна нейронная сеть – RBF1 (радиально-базисная сеть с нулевой ошибкой).

Таким образом, в ходе работы проведен сравнительный анализ результатов распознавания отпечатков пальцев нейронными сетями типов RBF, GRNN, FF с различными параметрами. Показано, что использование алгоритма, основанного на применении нейронной сети RBF с нулевой

ошибкой, дает возможность эффективного сравнения признаков и классификации отпечатков пальцев. Результаты, полученные в данном исследовании, будут внедрены в автоматизированной системе контроля доступа, разрабатываемой на предприятии ДНР.

### **Список литературы**

1. Sherline J.R. Multimodel Authentication System using Artificial Neural Network / J.R.Sherline // International Conf. on Emerging Technology Trends (ICETT), Proceedings published by International Journal of Computer Applications (IJCA), 2015.
2. Бабичева М.В., Распознавание лиц в режиме реального времени сверточной нейронной сетью / М.В.Бабичева, А.С.Шевченко // Вестник Донецкого национального университета Серия Г. Технические науки. – 2018. – № 2. – С. 67-71.
3. Ratha N. Automatic Fingerprint Recognition Systems / N. Ratha. – New York.: Business Media, 2014. – 458 с.
4. Гудков В.Ю. Применение нейронной сети для распознавания частных признаков дактилоскопических изображений / В. Ю. Гудков . The 22nd International Conference on Computer Graphics and Vision, 2012. – С.127.
5. Бабичева М.В., Выделение особых точек отпечатков пальцев детекторами углов / М.В.Бабичева, А.С.Юрченко // Вестник Донецкого национального университета Серия Г. Технические науки, 2018. – № 5. – С. 38-43.

УДК 389.001

## **АКУСТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

*Данилов В.В., д-р техн. наук, профессор,  
Тимченко В.И., канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Ступак В.А., Рушечников Я.И.*

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

Надежность ответственных узлов и деталей требует развития систем непрерывного неразрушающего их контроля в процессе эксплуатации. Для таких систем надо определить тип и состав параметров, связанных со структурными и конструктивными характеристиками, которые предшествуют процессу необратимых изменений. На примере амплитудно-частотного БПФ – анализа показана связь дефектной структуры с параметрами упругих волн, генерируемых воздействием ударника.

Понятия качества и целостности силовых конструкций используются в связи с решениями проблемы количественной оценки динамических ситуаций в процессе изготовления и последующей эксплуатации различных ответственных узлов и деталей силовых конструкций и невозможности заранее выявить изменения в параметрах этих объектов.

К возможным причинам разрушения металлических конструкций относят:

- некачественное изготовление изделия, которое допускает наличие дефектов литья, сварки, проката, а также нарушение правил производства;
- отступление от алгоритма монтажа тех или иных металлоконструкций, которое привело к неправильному распределению нагрузки и прочим дефектам;
- перегрузка вследствие превышения допустимых нагрузок;
- действие внешних сил и факторов, которые привели к разрушению структуры металла.

Первые два обстоятельства вполне могут быть выявлены на стадиях контроля готового изделия или при монтаже. Остальные два проявляются не сразу, обусловлены внешними условиями и, поэтому, требуют постоянного внимания.

В последнее время значительное распространение при изучении физико-механических свойств различных материалов получил импульсный ультразвуковой метод. В котором значениям скорости разных типов волн можно рассчитать модули упругости исследуемого материала. Импульсное возбуждение упругих колебаний в твердых телах связано с распространением волн напряжений, при этом тело поглощает энергию, большая часть которой расходуется на неупругую деформацию, реализуемую в виде пластического формоизменения или в виде разрушения. Динамика дальнейшего развития разрушения определяется типом разрушения.

У пластичных материалов предел упругости ниже не только предела прочности, но и предела текучести. Поэтому процессу разрушения предшествует значительная пластическая деформация, подготовляющая этот процесс. При этом также изменяются геометрические размеры детали.

Таким образом, разрушению предшествует ряд изменений внутренних параметров материала и внешних характеристик изделий. В первую очередь изменяется коэффициент упругости, тип дефектов кристаллической структуры и их распределение, а также геометрические размеры деталей.

Декремент затухания колебаний с частотой  $\omega$  позволяет определить [1] модуль Юнга  $E(l)$  вдоль распространения волны в соответствии с соотношением  $\Delta = \pi \omega E(l) r$  ( $r$  – коэффициент вязкости). В общем виде это соотношение можно представить как суперпозицию нескольких упругих волн  $\Delta_i = \pi \omega_i E r$ , которые генерируются внешним источником,

При анализе длительности [2] процесса распространения пакета волн вдоль известного по длине пути и его отражения можно определить скорость упругих продольных и поперечных волн в твердой среде с плотностью  $\rho$ : из соотношений  $v_{\parallel} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  и  $v_{\perp} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$  (здесь  $E$  – модуль Юнга, а модуль сдвига –  $G$ ).

Из анализа факторов, определяющих частотный диапазон упругих колебаний [3] следует, что в интервал частот  $1 \div 10^2$  Гц (область 1) попадают максимумы, связанные с образованием геометрических перегибов (рис.1), которые расположены вблизи пика, вызванного релаксацией движения точечных дефектов.

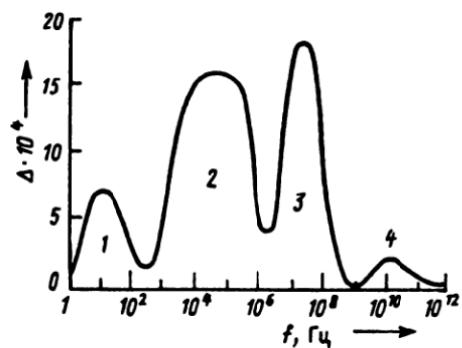


Рис. 1. Спектр релаксационных процессов, связанных с дислокационными процессами [4]

Основные принципы испытаний с использованием заданного ударного спектра приведены в МЭК 60068-2-27:1987 [5].

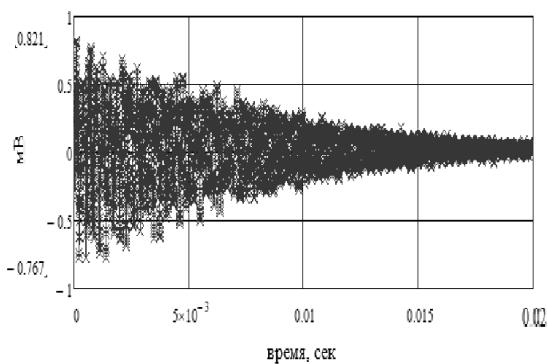


Рис. 2 Осциллограмма колебаний при ударной нагрузке

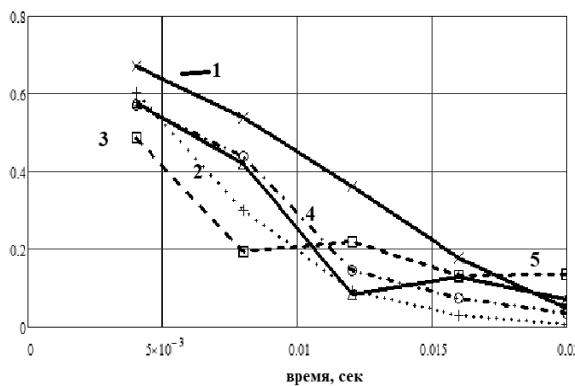


Рис. 3. Затухание упругих волн с частотой 2.5-(1), 11.5-(2), 13-(3), 22-(4) и 24.5-(5) кГц

Как видно, для выявления изменений в кристаллической структуре контролируемого изделия надо с помощью внешнего источника сформировать акустический импульс и провести анализ его изменений по частоте, амплитуде, времени прохождения, фазе и т.д. Из приведенных выше соотношений следует, что такой источник должен генерировать колебания в широком диапазоне.

Рассмотрим процесс распространения упругих колебаний в стальном цилиндре длиной 145 мм и диаметром  $\varnothing 40$  мм при воздействии одиночного удара стального шара  $\varnothing 8$ мм. Приемником служил пьезоэлектрический преобразователь, укрепленный на тыльной стороне цилиндра. Регистрация электрического отклика производилась цифровым осциллографом DS06102A, достоинством которого является широкая полоса усилителя.

На рис. 2 представлена осциллограмма затухающих колебаний, которые возникали при вышеизложенных условиях с интервалом  $4 \cdot 10^{-5}$  сек. Общий объем данных в формате EXCEL занял 360 кбайт и состоял из почти  $5 \cdot 10^4$  пар измеренных амплитуд и времени.

Более подробную информацию можно получить при амплитудно-частотном анализе, который был проведен при использовании БПФ.

Основные пики возникших в цилиндре колебаний, выявленные при Фурье анализе лежали вблизи 3.5, 11.5, 13, 22 и 24.5 кГц. Из приведенного примера ясно, что характер распространения упругих колебаний в металлической детали определяется параметрами материала, ее геометрическими размерами и, что важно, способом возбуждения этих колебаний.

**Вывод.** Система акустического мониторинга ответственных деталей и узлов должна включать основные приемы: а – способ возбуждения упругих колебаний, б – метод регистрации акустического отклика и в – методику обработки полученных результатов.

### **Список литературы**

1. Тяпунина Н.А. Действие ультразвука на кристаллы с дефектами / Н.А.Тяпунина, Е.К.Наими, Г.М.Зиненкова. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – С.238.
2. Исакович М.А. Общая акустика / М.А.Исакович. – М.: Изд-во Наука, Физматлит., 1973. – С.495.
3. Тяпунина Н.А. Действие ультразвука на кристаллы с дефектами / Н.А.Тяпунина, Е.К.Наими, Г.М.Зиненкова. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – С.238.
4. IEC 60068-2-27(2008), Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Часть 2-27: Испытания. Испытание Ea и руководство: Удар.

УДК 537.86.029

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОГО ПРИЕМНИКА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ИНФОРМАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ РАДИОКАНАЛА**

***Жинкина А.С., Яновский А.В.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*a.zhinkina@donnu.ru*

Для обнаружения устройств съёма и передачи информации, которые используют радиоканал, может быть применен автоматизированный разведывательный приемник. Сущность данного метода обнаружения заключается в сравнении спектра излучения на контролируемом объекте со спектром излучения за его периметром [1]. Так как мощность закладных устройств зачастую имеет относительно малые значения, спектrogramма, измеренная даже на относительно небольшом расстоянии от контролируемого периметра будет иметь отличия от спектrogramмы измеренной непосредственно в самом охраняемом периметре. Так как близость к закладному устройству вызовет повышения амплитуды на определённой частоте, а уровень фонового излучения (радиовышки, телевещательные станции...) не претерпит существенного изменения.

Проверка данного метода была осуществлена на макете автоматизированного приёмника, структурная схема которого поведена на рис.1.

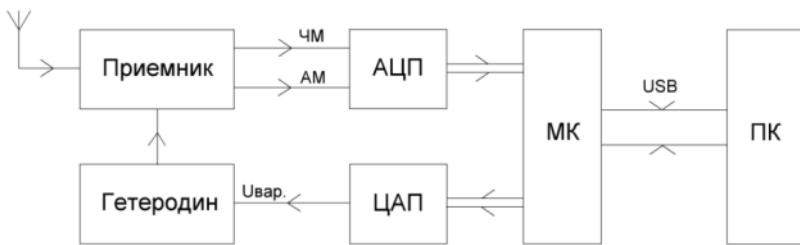


Рис.1. Структурная схема разведывательного приемника

В качестве основы приемника была выбрана интегральная микросхема TDA7021T. Высокая стабильность частоты гетеродина обеспечивается системой ФАПЧ. Управление частотой гетеродина приемника осуществляется посредством варикапа, включённого в частотозадающую цепь. Микросхема имеет раздельные выходы для детектирования амплитудной и частотной модуляции. Сигнал с данных выходов поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а данные с него — на микроконтроллер (МК). Также МК осуществляет запись данных в цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), напряжение с которого поступает на варикап гетеродина. Таким образом, микроконтроллер не только получает данные о наличии и глубине модуляции, но и может перестраивать гетеродин приёмника.

Также на микроконтроллер возложена функция связи с персональным компьютером (ПК). Основная управляющая программа находится на ПК.

Внешний вид интерфейса программы приведен на рис.2.

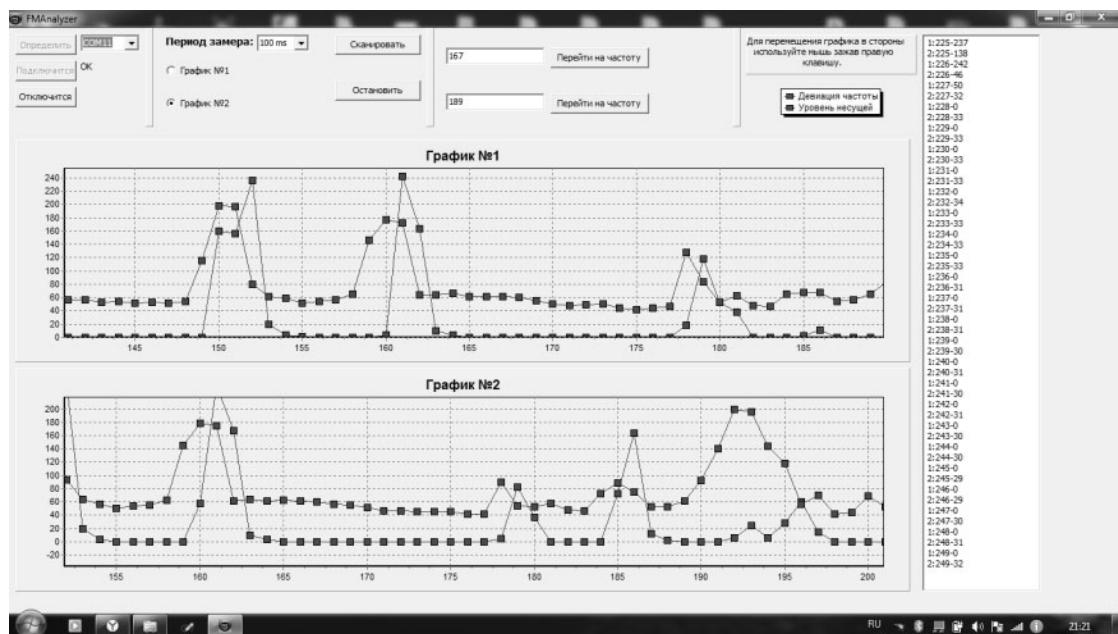


Рис. 2. Интерфейс программы управления приемником

В интерфейсе программы есть возможность выбора графика на который будет вестись запись на данный момент, периода проведения

измерений, ручного перехода на определенную частоту и выбор режима автоматического сканирования. Например, на рисунке на Графике №2 приведён спектр в узкой полосе, на которой видно радиовещательные станции, а на Графике №1 поведена та же частотная область с включенным передатчиком имитирующем работу закладного устройства. Обнаружения закладного устройства производится по появившемуся пику на спектрограмме.

### **Список литературы**

1. Вартасарян В.А. Радиоэлектронная разведка / В.А.Вартасарян. – М.: Воениздат, 1991.

УДК 004.451.7

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КАНАЛОВ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ (ПЭМИ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ РАДИОСИСТЕМЫ (SDR)**

**Рушечников Я.И., Данилов В.В.**, д-р техн. наук, профессор  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*yaroslavrushenkov@gmail.com*

**Введение.** Программно-определяемая радиосистема [1] (SDR) – это *концепция*, согласно которой радиочастотная связь осуществляется посредством использования программного обеспечения (или системного программного обеспечения) для выполнения задач обработки сигналов, которые обычно выполняются аппаратными средствами.

В зависимости от аппаратной составляющей и связности компонентов программно-определяемая радиосистема может поддерживать различный программный функционал. К примеру, для приёмного тракта можно выделить такие программные задачи, которые ранее решались лишь аппаратными средствами:

- выборка и демодуляция принятых радиочастотных сигналов;
- анализ гармоник сигналов;
- выборка и декодирование сигнала (получение двоичной информации, если речь идёт о передаче данных);
- фильтрация и удаление нежелательных компонентов из сигнала;
- сохранение всех уровней радиообмена, которые в дальнейшем можно воспроизвести;

Все эти возможности обеспечиваются благодаря цифровым сигнальным процессорам (DSP) [2] и аналого-цифровым преобразователям (АЦП), взаимодействовать с которыми можно в режиме реального времени при помощи программных вызовов.

**Актуальность** данной темы заключается в том, что на базе одной аппаратной платформы можно реализовать несколько программных механизмов обработки данных, принимаемых по радиоканалу, в том числе и систему по поиску каналов побочных электромагнитных излучений.

**Цель.** Данное исследование преследует несколько целей:

1. Всестороннее исследование возможностей SDR систем, их аппаратных компонент и способов программного взаимодействия с ними;

2. Концептуализация алгоритма поиска частот побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН) [3] средствами SDR системы.

**Результат.** Так как в качестве алгоритма для идентификации частот ПЭМИН предложено ориентироваться на методы распознавания сигналов (совпадения звуковых отпечатков) на каждой из детектированных частот, то был выработан следующий алгоритм:

1. Запуск на ПК, у которого необходимо определить каналы ПЭМИН специального модельного сигнала (Сигунд заставки).

2. Сканирование выбранного диапазона частот и сохранение всех частот вещания, обнаруженных в данном диапазоне.

3. Переход по каждой из обнаруженных частот и запись эфира в течении короткого времени.

4. Анализ каждого записанного фрагмента и сравнение его с модельным сигналом. При этом формируются диаграммы совпадений.

5. Формирование отчёта и вывод списка подозрительных частот.

Для проведения практического эксперимента в ручном режиме тестировалась частота от 200 до 210 МГц с амплитудным типом модуляции. В результате была найдена главная частота вещания ПЭМИН а так же большое количество побочных каналов.

**Заключение.** Стоит отметить, что при апробации данного алгоритма поиска ПЭМИН был выявлен фактор линейной зависимости времени детектирования ПЭМИН от количества обнаруженных частот в исследуемом промежутке. Это связано с тем, что запись звукового отпечатка – синхронная операция, и в момент её выполнения SDR система не может выполнить другие операции. Так же производительность и скорость работы данного алгоритма полностью зависит от используемой аппаратной платформы и её возможностей, так как SDR системы начального уровня (DVB-T2/RTLSdr) [4] обладают низкой чувствительностью и низкой пропускной способностью. Тем не менее, в рамках описанного алгоритма даже RTLSdr имеет высокий процент положительных срабатываний на ПЭМИН.

## Список литературы

1. Введение в программно-определяемые радиосистемы (SDR) URL: <https://radioprog.ru/post/532> (дата обращения: 18.09.19).

2. Современные устройства цифровой обработки сигналов URL: [http://multicore.ru/uploads/media/ElectronicaNTB\\_2009-1.pdf](http://multicore.ru/uploads/media/ElectronicaNTB_2009-1.pdf) (дата обращения: 15.09.19).
3. Защита информации от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-informatsii-ot-utechki-po-kanalu-pobochnyh-elektromagnitnyh-izlucheniy> (дата обращения: 10.09.19).
4. DVB-T2 using RTL-SDR URL <https://www rtl-sdr com/forum/viewtopic.php?t=2324> (дата обращения: 12.09.19).

УДК 681.327.11:537.531

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ ЭВМ

*Рушечников Я.И., Яновский А.В.,  
Данилов В.В., д-р техн. наук, профессор  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
ut5iv@mail.ru*

Целью настоящей работы является исследование физических основ природы вторичных электромагнитных излучений как носителей информации, содержащейся в электромагнитном излучении элементов и устройств ЭВМ.

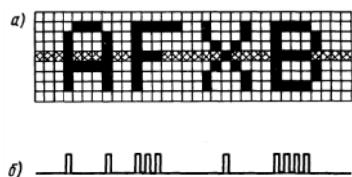


Рис.1

Структура видеосигнала изображения дисплея показан на рис. 1, где: а) элементы изображения на экране дисплея; б) сигнал на модуляторе дисплея формирующий изображение.

Энергетический спектр видеосигнала описывается выражением:  $S_x(f) = A \left( \frac{\sin \pi f T_\delta}{f T_\delta} \right)^2$ , где

$T_\delta$  – длительность одного бита видеосигнала, А – амплитуда сигнала, которая является функцией числа элементов изображения на экране (рис. 2а).

Если видеосигнал имеет время перехода из одного состояния в другое –  $T_t$ , то его энергетический спектр [1,2]:  

$$S_x(f) = S_x(f) \left[ \frac{1}{(\pi f T_t) + 1} \right] = A \left( \frac{\sin \pi f T_\delta}{f T_\delta} \right)^2 \left[ \frac{1}{(\pi f T_t) + 1} \right],$$

где последний множитель представляет собой частотную характеристику ФНЧ с граничной частотой  $f_2 = 1/(\pi T_t)$ . Огибающая энергетического спектра

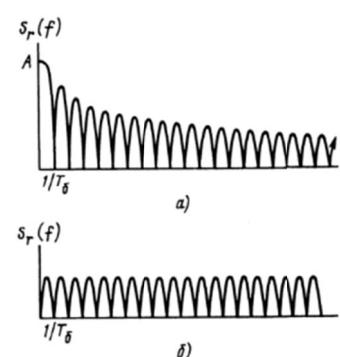


Рис. 2. Энергетические спектры видеосигнала (а) и электромагнитного излучения при  $f < f_2$  (б)

практически постоянна до частоты  $f_1 = 1/(\pi T_\delta)$ . В цепях дисплея присутствует не только видеосигнал, но и тактовые синхроимпульсы. Энергетический спектр его содержит гармоники, интенсивность которых убывает с ростом частоты. Видеосигнал имеет значительное усиление и его уровень излучения является значительным, что наблюдается вплоть до частот в несколько сотен мегагерц. Значение частоты зависит от схем обработки видеосигнала [3]. Если предположить, что эта частота ниже  $f_2$ , то энергетический спектр излучения  $S_r$  дисплея (рис. 2б) может быть оценен выражением  $S_r(f) \sim \sin^2 \pi f T_\delta$ , где  $f_2 > f > f_1$ . Результаты исследования частотной зависимости наводок (помех) и напряженности электрического поля на расстоянии от дисплея представлены на рис 3 и 4.

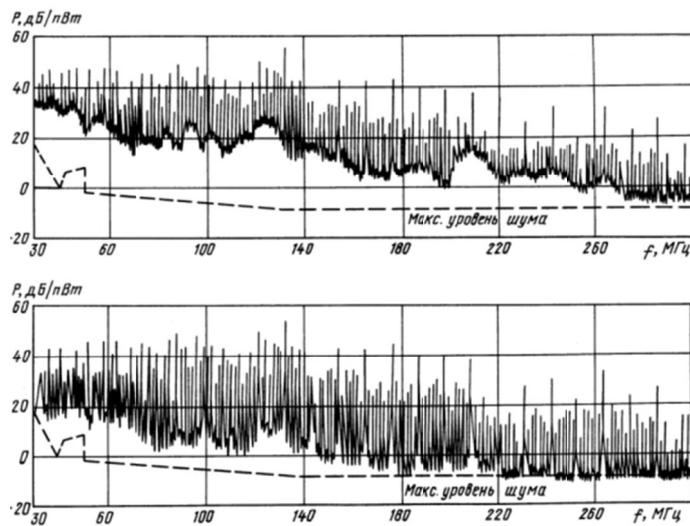


Рис. 3

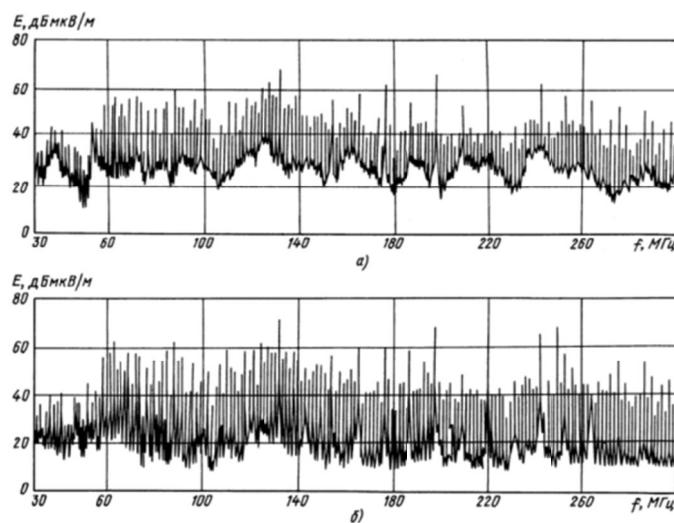


Рис. 4

дипольная антенна; 3 – магнитная рамочная антенна (15...25 кГц); 4 – измерительный приемник; 5 – смеситель; 6 – ТВП; 7 – формирователь

Измерения показывают, что широкополосный спектр излучения дисплея не описывается функцией  $\sin^2 \pi f T_\delta$ . На некоторых частотах (например, 125 и 210 МГц) имеются резонансы, которые являются причиной увеличения излучения на 15 дБ по сравнению с излучением на соседних частотах.

Для восстановления информации анализ лишь уровня ЭМИ недостаточен, нужно знать еще их структуру [4-6]. Для дисплеев она соответствует структуре телевизионного сигнала, поэтому в качестве инструмента измерений использовался телевизионный приемник (ТВП). Расстояние, на котором информация с экрана дисплея уже не будет воспроизводиться телевизионным приемником исследовалось с помощью структуры аппаратных средств представленной на рис. 5, где: 1 – дисплей; 2 –

синхросигналов; 8 – сигналы синхронизации (передаются по волоконно-оптической линии); 9 – измеренное расстояние, 10 – сигнал гетеродина.

Результаты регистрации частотной зависимости уровня наводок на неэкранированный провод от другого неэкранированного провода при неидеальной «земле» (кривая 1) и идеальной (кривая 2) представлены на графике (рис 6).

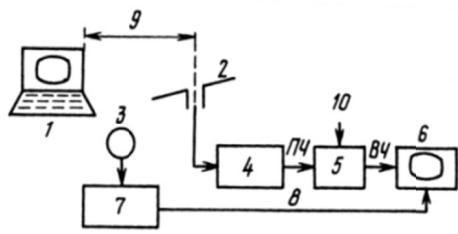


Рис. 5

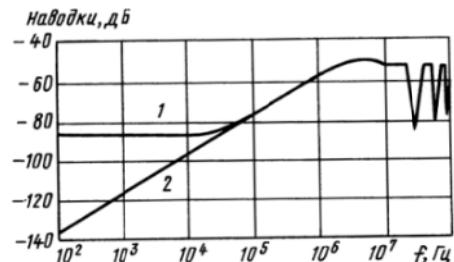


Рис. 6

Результаты исследования эффективности экранирования кабелей представлены на рис. 7., а расчетов и экспериментов, оценки наводки с экранированного кабеля на экранированный и с неэкранированного провода на экранированный кабель представлены на рис. 8, где 1-расчетная кривая; 2 – экспериментальная кривая.

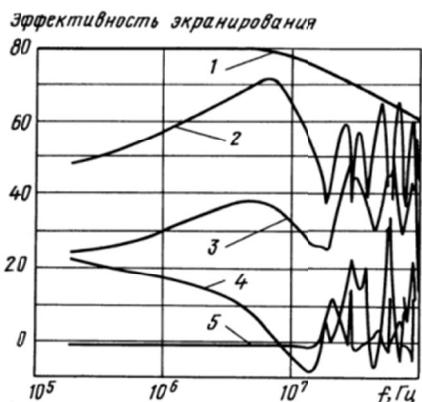


Рис. 7



Рис. 8

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено следующее: излучение дисплеев, содержит гармоники видеосигналов которые практически охватывают диапазон дециметровых волн и оно не содержит информации о синхросигнале; мощность наводок в проводах питания дисплея и напряженность электрического поля подчиняется определенным распределениям (рис.3,4); определена частотная зависимость наводок на неэкранированный провод от другого неэкранированного провода (рис. 8); предложена структура аппаратных средств для исследования дальности распространения излучения дисплея (рис. 5).

## Список литературы

1. Никольский В.Д. Электродинамика и распространение радиоволн / В.Д. Никольский. – М.: Наука, 1973.
2. Маслов М.Ю. Численный анализ электромагнитного поля монтора с электронно-лучевой трубкой / М.Ю. Маслов, С.В. Ситникова, Ю.М. Сподобаев // Вестник СОНИИР. – 2005. – №1. – С. 44-47.
3. Лыньков Л.М. Защита от побочного электромагнитного излучения персонального компьютера / Л.М. Лыньков, Т.В. Борбелько, А.А. Казека // Доклады БГУИР. – 2008. – №5(35). – С. 29-34.
4. ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
5. ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности.
6. ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

УДК 004.62

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ

*Третьяков И.А.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*es75i@mail.ru*

**Введение.** Выделяют две различные группы методов сегментации экспериментальных кривых: параллельные и последовательные. Методы первой группы [1-3] предусматривают, что анализируемая экспериментальная кривая обрабатывается полностью. Методы второй группы, последовательные [4-6], предусматривают, что на данный момент анализируется только определенная часть экспериментальной кривой, на которой и необходимо выделить границы соответствующих участков. Существуют так же работы, в которых в некотором смысле объединены методы первой и второй группы [7].

**Цель.** Возникает необходимость анализа существующих методов сегментации, выявления в них недостатков и разработка решений для их устранения.

**Методы параллельной сегментации.** В методах параллельной сегментации для решения поставленной задачи вводится некоторый параметр оценки качества сегментации, зависящий от конкретного разделения кривой. Разделение, при котором данный параметр принимает экстремальное значение и является искомым. Такими параметрами могут являться: квадратичные невязки, минимаксные критерии, функции

правдоподобия. Далее рассмотрен каждый из вышеописанных параметров оценки качества сегментации.

Квадратичный параметр в непрерывной форме представляет собой:

$$J(T, a) = \sum_{j=1}^r \int_{T_{j-1}}^{T_j} [y(t) - F_j(t, a_j)]^2 dt, \quad (1)$$

где  $a = (a_1, a_r)$ ,  $\{F_j(t, a_j)\}$  – параметрически заданный класс функций.  $F_j(t, a_j)$  принадлежит классу полиномов определенного порядка, а именно  $F_j(t, a_j) = \sum_{k=0}^{m-1} a_k^j t^k$ . Найти минимальное значение параметра (1) возможно методом полного перебора. Недостатком метода полного перебора являются временные затраты.

Минимаксный параметр для оценки качества аппроксимации представляет собой:

$$\hat{J}(T, a) = \max \{e_j(T_{j-1}, T_j) : j = 1 \dots r\}, \quad (2)$$

где  $e_j(T_{j-1}, T_j) = \min_{a_j} \max_{T_{j-1} \leq t \leq T_j} |f(t) - F_j(t, a_j)|$ . Для минимизации (2) применяются рекуррентные выражения метода динамического программирования:

$$f_1(t_Q) = \min_{T_0 \leq T_1 \leq t_Q} \max \{e(T_0, T_1), e(T_1, t_Q)\}, Q = 1 \dots n.$$

Для  $N = 2, 3, \dots, r-1$ :

$$f_N(t_Q) = \min_{T_0 \leq T_N \leq t_Q} \max \{F_{N-1}(T_N), e(T_N, t_Q)\}, Q = 1 \dots n.$$

Аппроксимация определяется достаточными условиями минимума параметра (2), а именно:

$$e_1(T_0, T_1) = e_2(T_1, T_2) = \dots = e_r(T_{r-1}, T_r), \quad (3)$$

Для удовлетворения условий (3) при построении аппроксимации предлагается использовать:

$$e_j^k(T_{j-1}^k, T_j^k) = C_j^k (S_j^k)^m, j = 1 \dots r, \quad (4)$$

где  $S_j^k = T_j^k - T_{j-1}^k$  – длина интервала на  $k$ -м шаге алгоритма,  $C_j^k$  – неизвестные коэффициенты,  $m$  – размерность полинома  $F_j(t, a_j)$ . В описанных алгоритме в случае нулевой ошибки на интервале  $C_j^k = 0$  вычислить  $S_j^k$  не получается. Этот недостаток предлагается устранить исключением интервалов с нулевой ошибкой из анализа, после чего происходит обработка остальных участков экспериментальных кривых.

Случайный процесс  $F(t)$ ,  $t = 1 \dots N$  является последовательностью независимых случайных величин. Распределение у данной последовательности до момента времени  $T_1$  представляет собой  $R(F, \theta_1)$ , а начиная с этого момента времени  $T_1$  –  $Q(F, \theta_2)$ . Вектора параметров  $\theta_1, \theta_2$  неизвестны. Для оценки качества обнаружения разладки  $T_1$  по реализации  $f(t) = (f_1, \dots, f_N)$  используется логарифмическая функция правдоподобия:

$$J(T_1, \theta_1, \theta_2) = \sum_{j=1}^{T_1} \log x(y_j, \theta_1) + \sum_{j=T_1+1}^{T_2} \log y(y_j, \theta_2), \quad (5)$$

где  $T_2 = N$ , а  $x, y$  – функции плотности вероятности до момента времени  $T_1$  и после. Отыскиваемым моментом разладки является  $T_1^*$ , доставляющее максимальное значение параметру (5), для поиска которого применим метод полного перебора. В случае, когда  $\theta_1, \theta_2$  определены, в момент времени  $T_1$  вид распределения не меняется и вместо (5) предлагается использовать кумулятивную сумму  $J'(T_1) = \sum_{j=1}^{T_1} V_j$ , в которой  $V_j = \log x(y_j, \theta_1) + \log y(y_j, \theta_2)$ . В случае, когда  $x$  – функция плотности нормального распределения и изменяется только среднее значение, то  $V_j$  не зависит от  $T_1$  и его следует определять как  $V_j = y_j - \frac{(\theta_1 + \theta_2)}{2}$ , где  $\theta_1, \theta_2$  – средние значения до и после разладки. В случае биномиального распределения  $V_j = y_j \log \frac{\theta_1}{\theta_2} - (-y_j) \log \frac{(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)}$ , где  $\theta_1, \theta_2$  – значение вероятностей  $F(t_j) = 1$  при  $t_j \in [1, T_1]$  и  $t_j \in [T_1, N_1]$ .

**Заключение.** Рассмотренные в данной работе методы имеют как преимущества, так и недостатки. Общим недостатком вышеописанных алгоритмов (4, 5) является то, что не всегда существует решение, удовлетворяющее условиям (3) при дискретном задании экспериментальной кривой. Данный недостаток предлагается устранить исключением интервалов с нулевой ошибкой из анализа, после чего происходит обработка остальных участков экспериментальных кривых.

## Список литературы

1. Федотов Е.А. Об эффективности метода последовательной сегментации толстых и тонких кровеносных сосудов глазного дна / Е.А.Федотов, Д.А.Черноморец, В.М.Михелев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2018. – № 2. – С. 312-321.
2. Никифоров И.В. Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов / И.В. Никифоров. – Москва: Наука, 1983. – 199 с.
3. Вишнякова О.А. Автоматическая сегментация речевого сигнала на базе дискретного вейвлет-преобразования / О.А.Вишнякова, Д.Н.Лавров // Математические структуры и моделирование. – 2011. – № 2 (23). – С. 43-48.
4. Каримов А.Р. Параллельная реализация методов сегментации по морфологическим водоразделам / А.Р.Каримов, М.А. Верхутуров // Вестник УГАТУ. – 2014. – № 2 (63). – С. 172-180.
5. Медведева Е.В. Метод сегментации изображений в прикладных телевизионных системах / Е.В.Медведева, Е.Е.Курбатова // T-Comm. – 2010. – № 2. – С. 46-49.
6. Стругайло В.В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений / В.В. Стругайло // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2012. – № 05. – С.270-281.
7. Третьяков И.А. Методы параллельной сегментации экспериментальных кривых / И.А.Третьяков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 4. – С. 36-41.

## К ПРОБЛЕМЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

**Урляков А.С., Белянцева Н.В.**

Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», г. Орск, РФ  
*urlyakov.alexander@yandex.ru*

Проблема энергоснабжения является особо актуальной для многих регионов России и одновременно выступает приоритетным направлением в улучшении качества жизни населения и развития экономики как регионов, так и страны в целом [1; 4].

Качество энергообеспечения, его доступность и постоянство являются необходимыми условиями удовлетворения большинства потребностей человека [2]. Также энергетика становится основанием развития многих отраслей промышленности и народного хозяйства [3].

Однако, важно заметить, что не все регионы страны, потребители могут быть охвачены централизованным электроснабжением, что детерминируется географическими факторами и рядом других обстоятельств [2; 5].

Решение проблем такого рода, является наиболее актуальным на современном этапе развития общества.

Возобновляемая или регенеративная энергия (Зеленая энергия) – энергия из источников, которые по человеческим понятиям являются неисчерпаемыми [1].

Основной принцип использования возобновляемой энергии заключается в её извлечении из постоянно происходящих в окружающей среде процессов и предоставлении для технического применения [8].

Ветроэнергетика преобразует кинетическую энергию воздушных масс в атмосфере в электрическую, тепловую и любую другую форму энергии.

В большинстве развитых стран в условиях государственного стимулирования производства электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии за последние годы достигнут большой прогресс в строительстве и использовании ветроэлектрических установок (ВЭУ) [6-7].

Активно осваивается энергия ветра в развивающихся странах – Индии, Китае, Бразилии, Египте и др..

Благодаря внедрению научно-технических достижений, увеличению мощности ветроэлектростанций (ВЭС), объединяющих ряд ВЭУ, уже к началу XXI в. себестоимость электроэнергии, вырабатываемой ВЭС, снизилась до 6-7 центов за кВт·ч и практически сравнялась с себестоимостью электроэнергии теплоэлектростанций (ТЭС), а с учетом дополнительных затрат, связанных с экологическими факторами, будет ниже. Удельные капиталовложения, приходящиеся на 1 кВт установленной мощности, на крупных ВЭУ (порядка 1000 дол. /кВт) меньше, чем на угольных ТЭС.

Дальнейшее снижение стоимости и повышение эффективности ВЭС достигаются за счет увеличения мощности ВЭУ и ВЭС, роста технико-экономических показателей ВЭУ при внедрении новых научно-технических решений.

Поэтому развитие ВЭС идет по пути как увеличения единичной мощности ВЭУ, так и их количества в составе ВЭС и соответственно в целом мощности ВЭС. Модульная компоновка ВЭС при увеличении единичной мощности ВЭУ за последние годы до 5 МВт и более создает благоприятные условия для их работы в объединенных энергосистемах, позволяет повысить их надежность и эффективность.

Важнейший показатель – коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) – вырос до 25 %, а по прогнозам к 2030 г. может достигнуть 30 %.

Широкое развитие получило строительство ВЭС на шельфе в прибрежных в основном мелководных акваториях в Дании, Голландии, Швеции, Англии и других странах.

В Канаде рассматривается возможность строительства ВЭС мощностью 0,7 млн. кВт на озере Онтарио. К 2010 г. производство электроэнергии на шельфовых ВЭС составило до 8 % общего производства электроэнергии на ВЭС.

В 2007 г. общая мощность ВЭС в мире составила 94 млн. кВт с выработкой около 200 млрд. кВт·ч (1,2 % мирового производства электроэнергии), в странах ЕС – 57 млн.кВт с выработкой более 3,3% всей электроэнергии, в том числе в Германии – 22,2 млн.кВт (с выработкой около 6 % всей электроэнергии), Испании – 15,1 млн.кВт, Дании – 3,1 млн.кВт, Италии – 2,7 и Франции – 2,5 млн.кВт, а в США 16,8 млн.кВт (с увеличением в 2008 г. до 25,1 млн.кВт), в Китае – 6,0 млн. кВт (с увеличением в 2008 г. до 12,2 млн.кВт), в Индии – 8 млн.кВт.

В мире в среднем ежегодный рост мощности ВЭС приблизился к 30 %.

По прогнозам к 2030 г. доля электроэнергии, вырабатываемой на ВЭС, может достичь: в Дании – до 50 % общей выработки, в Германии – до 30 %, в США – до 20 %.

В России построено лишь несколько ветровых электростанций (ВЭС) с установленной мощностью более 1 МВт. Согласно отчету, установленная мощность ВЭС на территории России на середину 2016 г. составила 11 МВт (мощность ветропарков в Крыму, построенных под административным управлением Украины, составляет 87,8 МВт).

В настоящее время Россия практически не имеет опыта работы с ветроэнергетическими установками мегаваттного класса. Кроме того, для большинства из немногих установленных установок требуется капитальный ремонт. Тем не менее, в последние несколько лет, следуя за мировыми тенденциями, Правительство России сделало первые шаги по

определению мер в направлении ускорения развития возобновляемых источников энергии и сформулировало роль государства в осуществлении поддержки.

Согласно проекту REmap-21 Международного агентства по возобновляемой энергетике IRENA установленная мощность ветроэнергетических установок в России может достичь 24,3 ГВт к 2050 г., часть которой будет экспортirоваться. Это существенно выше, чем текущая, официальная цель, однако, это может повысить интерес инвесторов на российском рынке ветровой энергии.

Благодаря своей доступности энергия ветра находит также широкое применение в малой ветроэнергетике, в локальных системах энергоснабжения потребителей.

### **Список литературы**

1. Алексеенко С.В. Нетрадиционная энергетика и энергоресурсосбережение / С.В.Алексеенко // Инновации. Технологии. Решения, 2006. – N3. – С.33.
2. Клименко В.В. Мировая энергетика и глобальный климат после 2100 г. / В.В.Клименко, А.Г. Терешин // Теплоэнергетика, 2010. – N 12. – С. 38-44.
3. Колмогоров В.В. Инновационная составляющая повышения эффективности энергетики / В.В. Колмогоров // ЭКО. Экономика и организация промышленного производства, 2011. – N 4. – С. 14-26.
4. Копсов А.Я. Особенности реализации инвестиционных проектов в российской энергетике / А.Я. Копсов // Теплоэнергетика, 2010. – N 8. – С. 4-7.
5. Миркин Б.М. Глобальные тенденции развития энергетики. Традиционная энергетика / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова // Биология в школе, 2011. – N 3. – С. 53-57
6. Плакиткин Ю.А. Закономерности развития мировой энергетики и их влияние на энергетику России [Электронный ресурс] / Ю.А. Плакиткин. – ЭНЕРГИЯ, 2006.
7. Родионов В.Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего [Электронный ресурс] / В. Г. Родионов. – ЭНАС, 2010.
8. Энергетика России. 1920-2020. Том 2. Энергетическая политика на рубеже веков [Электронный ресурс] / ЭНЕРГИЯ, 2010.

УДК 004.712

## **АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРТА ETHERNET К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОМЕХАМ**

**Хлуденев А.В.**, канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, РФ  
*avhludev@yandex.ru*

**Введение.** Требования по обеспечению устойчивости телекоммуникационного оборудования к электромагнитным помехам различных видов устанавливает межгосударственный стандарт [1]. Испытания на устойчивость к помехам являются частью испытаний оборудования при

сертификации. Актуальной задачей является предварительная верификация новых проектов на устойчивость к электромагнитным помехам. В работе исследуются вопросы анализа устойчивости портов сети Ethernet к микросекундным импульсным помехам (МИП) большой энергии методами схемотехнического моделирования.

**Основная часть.** Процедура испытаний на устойчивость к МИП большой энергии должна выполняться в соответствии с требованиями стандарта МЭК 61000-4-5. При испытаниях на внешние выводы сигнальных портов устройств подаются МИП с испытательного генератора (ИГ). Модельный эксперимент должен имитировать проведение испытаний. При условии, что используемые модели ИГ, элементов согласования/развязки и портов проектируемых устройств адекватны, можно получать достоверные оценки устойчивости. В качестве инструментов исследования использовались:

- схемный редактор OrCAD Capture Lite;
- симулятор электрических схем PSpice Lite;
- Spice модели ИГ, цепей порта и элементов защиты.

На рисунке 1 приведена эквивалентная схема замещения для моделирования воздействия на линии порта импульсной помехи. Модель ИГ МИП 1.2/50 мкс [2] подключена к выводам порта по схеме «провод-земля» через цепь согласования на элементах R1-R2. Изменяя значение э.д.с. источника V1, можно устанавливать требуемый уровень жесткости испытаний. Линии Tx/Rx+, Tx/Rx- приемопередатчика физического уровня порта изолированы от внешних линий Ethernet разделительным трансформатором Tx1.

Интегральные схемы приемопередатчиков порта Ethernet 100 Mb/s обычно имеют встроенные элементы защиты только от статических разрядов. Допустимые токи для выводов Tx/Rx+, Tx/Rx- не должны превышать 300 мА при длительности импульсов тока не более 2 мкс.

Выполненный расчет переходных процессов для уровня жесткости 4 кВ (рисунок 2) позволяет сделать вывод, что встроенные элементы защиты ограничивают ток через вывод Tx/Rx- в импульсе на уровне 2.6 А, что многократно превышает допустимые значения для интегральных схем приемопередатчиков.

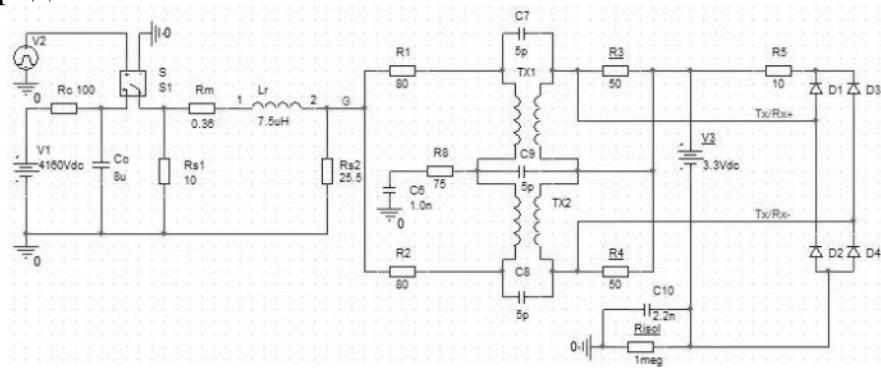


Рис. 1. Схема для моделирования воздействия МИП на порт Ethernet

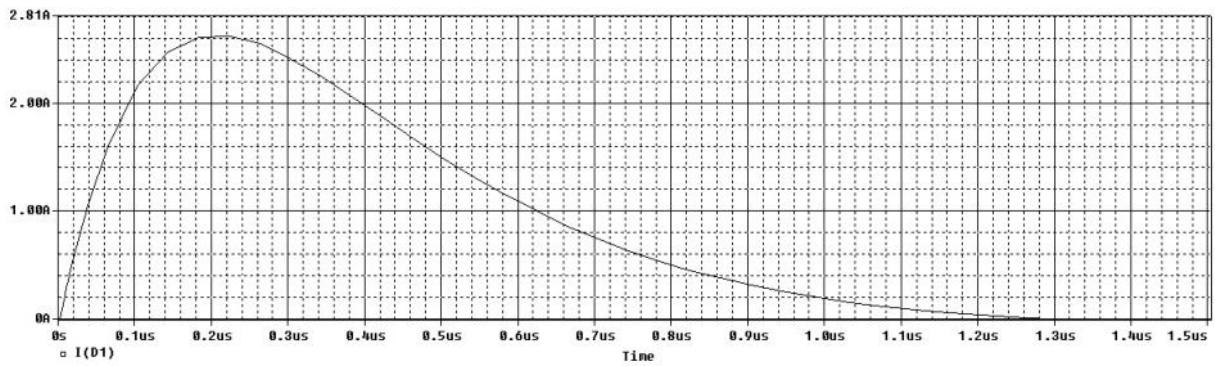


Рис. 2. Ток вывода Tx/Rx- без внешних элементов защиты

При защите линий высокоскоростных портов необходимо учитывать жесткие требования к допустимым значениям паразитных емкостей элементов защиты. Для этих целей используют специально разработанные защитные элементы. На рисунке 3 приведена эквивалентная схема замещения с защитой линий порта TVS матрицей SRDA3.3-4 (элементы D5 – D9, L1). При построении библиотеки Spice модели SRDA3.3-4 были использованы значения параметров, рекомендованные изготовителем.

Результаты моделирования переходного процесса при воздействии МИП амплитудой 4 кВ приведены на рисунке 4. Ток через вывод Tx/Rx- в импульсе незначительно превышает 300 мА в течение 0.3 мкс, что допустимо для интегральных схем приемопередатчиков.

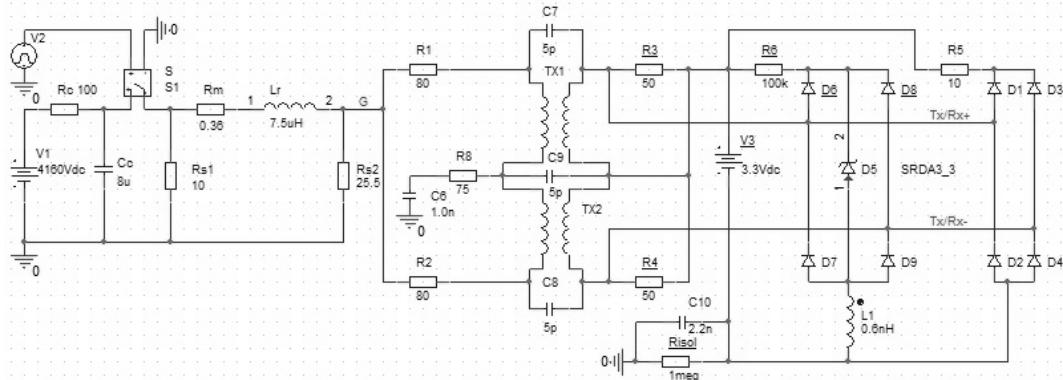


Рис. 3. Схема замещения порта Ethernet с защитой TVS матрицей

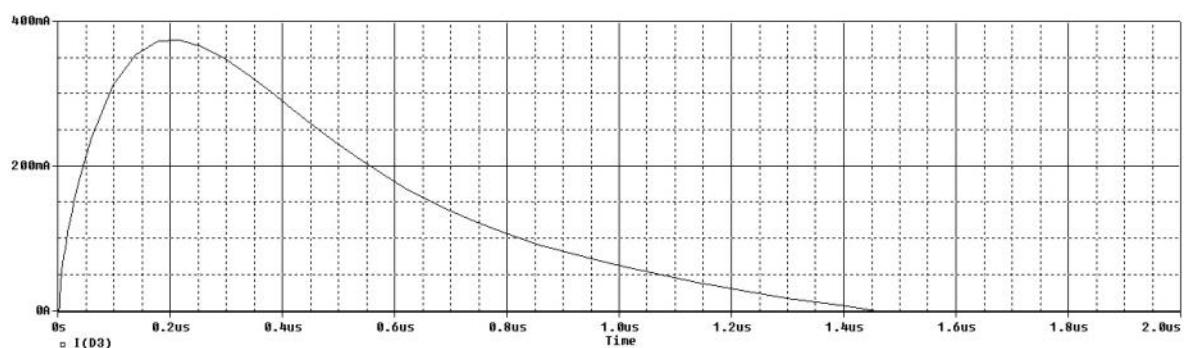


Рис. 4. Ток вывода Tx/Rx- с защитой TVS матрицей

**Заключение.** Представленные данные позволяют сделать вывод, что результаты моделирования хорошо согласуются с рекомендациями изготовителей элементной базы по выбору элементов защиты портов. В тех случаях, когда такие рекомендации имеют ограниченный характер, выполнение модельных экспериментов позволяет оценить устойчивость портов оборудования к электромагнитным помехам для требуемой жесткости испытаний.

### **Список литературы**

1. ГОСТ CISPR 24-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование информационных технологий. Устойчивость к электромагнитным помехам. Требования и методы испытаний [Текст]. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 25 с.
2. Хлуденев А.В. Моделирование устойчивости электронных средств к воздействию импульсных помех [Текст] / А.В.Хлуденев // Реализация компетентностного подхода в сфере инженерной подготовки: авт. моногр. – Уфа: Аэтерна, 2017. – С.151–158.

УДК 004.62

## **СПЕКТРАЛЬНОЕ УПЛОТНЕНИЕ–РАЗУПЛОТНЕНИЕ ПОТОКОВ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

*Шалаев А.В., Третьяков И.А.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*pers2tz.ru@mail.ru*

**Введение.** Важнейшей характеристикой автоматизированной информационно-коммуникационной системы является ее пропускная способность. Такие системы на основе волоконно-оптических линий передачи [1] обладают наибольшей пропускной способностью. Однако дисперсионные свойства волоконного световода затрудняют реализацию соответствующих каналов связи в информационно-коммуникационных системах без уплотнения – разуплотнения потоков данных [2]. Благодаря спектральному уплотнению [3–4] в оптическом диапазоне появляется возможность использования всей оптической полосы пропускания волоконных световодов. Спектральное представление сигналов и дифракция электромагнитных волн в оптических информационных системах рассмотрены в [5–6]. Алгоритм расчета акустооптического устройства для ввода данных в оптоэлектронные системы, технология реализации акустооптических устройств и принцип преобразования радиосигналов в их лазерные аналоги при акустооптическом взаимодействии представлены в [7–9].

**Цель.** Спектральное уплотнение каналов в оптической связи ставит задачу их последующего разуплотнения на стороне потребителя информации. Данная задача может быть решена благодаря применению

акустооптического элемента спектрального уплотнения–разуплотнения потоков данных.

**Основная часть.** В оптической спектроскопии, спектральные линии считаются разрешенными, если удовлетворяется критерий Рэлея. В информационно-коммуникационных системах этого недостаточно, для этого необходимо: при разделении линий (см. рис. 1), необходимо максимально получить энергию от каждой из них (заштриховано на рис. 1), поскольку для высокопрозрачных современных ВСв каждый децибел потерянной мощности эквивалентен уменьшению длины линии связи. – Доля энергии от соседней линии (область двойной штриховки, рис. 1) должна быть очень малой, что определяет низкий уровень перекрестных помех между каналами; – желателен минимальный частотный интервал между оптическими несущими для более полного использования полосы пропускания волоконного световода. В специальных информационно-коммуникационных системах необходима аппаратура обладающая малыми массогабаритами и энергозатратами.

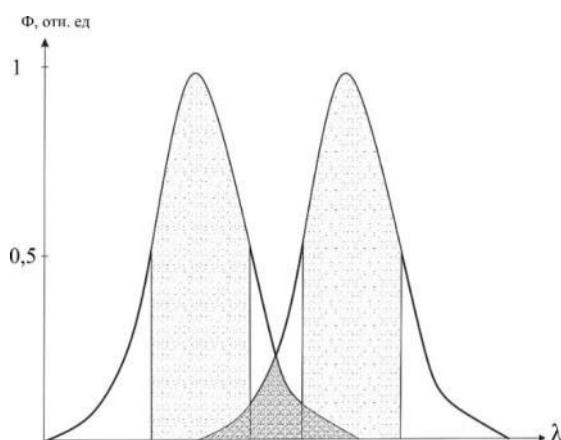


Рис. 1. Спектральное распределение мощности двух оптических несущих

Важной характеристикой процесса коллинеарного акустооптического взаимодействия является полоса пропускания, которая по уровню 0,5, без учета дисперсии показателя преломления среды акустооптического взаимодействия, определяется:

$$\Delta\lambda = 5\lambda_0^2 / (2\pi\Delta n L). \quad (1)$$

С учетом дисперсии, уравнение (1) можно переписать в виде:

$$\Delta\lambda = 5\lambda_0^2 / [2\pi L(\Delta n + \lambda_0 \frac{\partial \Delta n}{\partial \lambda_0})]. \quad (2)$$

Дисперсия показателя преломления в зависимости от типа среды АОВ может, как увеличивать, так и уменьшать полосу пропускания. Затухание и расходимость акустической волны увеличивает полосу пропускания коллинеарного акустооптического взаимодействия. Одной из основных характеристик коллинеарного акустооптического взаимодействия, является диапазон перестройки оптических волн, соответствующих диапазону частот акустических волн. Как показали экспериментальные исследования коллинеарной акустооптической ячейки, граница диапазона определяется двумя факторами: областью оптической прозрачности среды акустооптического взаимодействия и широкополосностью модуля возбуждения акустической волны. Частота акустической волны может быть найдена из условия синхронизма при коллинеарном акустооптическом взаимодействии, в виде:

$$\Omega_i = (V/\lambda_i)(n_0 - n_e). \quad (3)$$

Еще одной важной характеристикой коллинеарной акустооптической ячейки, является её угловая апертура. Полная входная апертура коллинеарной акустооптической ячейки, с погрешностью приемлемой в инженерных расчетах, с учетом преломления света на входной грани среды акустооптического взаимодействия, имеет вид:

$$\Psi = 2n_i(\lambda_0 / L\Delta n)^{1/2}. \quad (4)$$

**Заключение.** Представлены расчетные соотношения, позволяющие определить полосу оптических частот и оптическое разрешение коллинеарной акустооптической ячейки –  $\Delta\lambda$  (1, 2), частоты синхронизма –  $\Delta\Omega_i$  на которых возможно коллинеарное акустооптическое взаимодействие (3) а также входную угловую апертуру КАОЯ –  $\Psi$  (4).

### Список литературы

1. Элементы и устройства на основе одномодовых волоконных световодов / В.В.Данилов [и др.] // Вісник Донецького університету. Серія А: Природничі науки. – 2005. – Ч. 2, № 2. – С. 175-189.
2. Данилов В.В. Оптоэлектронные вычислительные сети / В.В.Данилов, М.В.Плыс, А.Н.Крищенко // Вісник Донецького університету. Серія А: Природничі науки. – 2007. – Вип. 2. – С. 176-197.
3. Шалаев А.В. Модель акустооптического элемента спектрального уплотнения-разуплотнения потоков данных автоматизированных систем / А.В.Шалаев, В.В.Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 4. – С. 49-56.
4. Третьяков И.А. Методика исследования акустооптического элемента спектрального уплотнения-разуплотнения потоков данных автоматизированных систем / И.А.Третьяков, А.В.Шалаев, В.В.Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 24-30.
5. Данилов В.В. Оптические информационные технологии. Спектральное представление сигналов / В.В.Данилов, В.И.Тимченко, И.А.Третьяков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 36-44.
6. Данилов В.В. Оптические информационные технологии. Дифракция электромагнитных волн / В.В.Данилов, В.И.Тимченко, И.А.Третьяков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2019. – № 2. – С. 36-44.
7. Третьяков И.А. Алгоритм расчета акустооптического устройства по виду электрооптической кривой / И.А.Третьяков, Т.В.Белик // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 2. – С. 9-19.
8. Третьяков И.А. Технология реализации акустооптических устройств / И.А.Третьяков, Т.В.Белик // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 3. – С. 11-15.
9. Оптические информационные технологии. Преобразование радиосигналов / И.А.Третьяков, М.Л.Павлов, Т.С.Тебенева, В.В.Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2016. – № 2. – С. 83-90.

## НЕСИММЕТРИЧНЫЕ РЕЖИМЫ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Шелехова О.Г.**, канд. техн. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
jenjaistorik@mail.ru

**Введение.** Одной из распространенных причин аварийности асинхронного двигателя (АД) является несимметрия питающего напряжения [1, 2], которая приводит к неравномерному распределению токов в обмотках трехфазных АД и росту температур отдельных фаз.

**Актуальность (социальная значимость)** К параметрам питающей системы можно отнести [3, 5]: тип сети, ее мощность, длину линии, схему соединения линии (одноцепная, двухцепная и т.д.), схему соединение обмоток трансформаторов линии и т.д.

Под параметрами несимметричной нагрузки понимают: ее мощность, характер (активная, активно-индуктивная и пр.), фазность подключения (однофазная, двухфазная и т.д.) [4, 5]. К числу мощных несимметричных потребителей электроэнергии относятся: однофазные электротермические установки значительной мощности; однофазные электровозы переменного тока; однофазные индукционные, руднотермические и графитировочные печи, хлораторы, магнитодинамические установки для перекачки металла; дуговые сталеплавильные печи; установки электрошлакового переплава; вентильные преобразователи; листовые прокатные станы; тяговые нагрузки железных дорог и др. [5].

В настоящее время ГОСТом 32144–2013 в качестве меры несимметрии использует коэффициент обратной последовательности:

$$K_{2U} = \frac{U_{обр}}{U_{np}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $U_{np}$ ,  $U_{обр}$  – напряжения прямой и обратной последовательности.

Однако в [6, 7] показано, что срок службы АД зависит не только от симметричных составляющих прямой ( $U_{np}$ ) и обратной ( $U_{обр}$ ) последовательности, но и от угла сдвига фаз между ними. В связи с этим необходимо изучить несимметричные режимы питающего напряжения при эксплуатации АД, с целью совершенствования алгоритмов систем контроля и прогнозирования теплового состояния АД.

**Целью** тезисов было изучение характерных режимов несимметрии питающего напряжения при эксплуатации АД и выявление параметров несимметрии источника питания, которые могут быть использованы в системах контроля и прогнозирования теплового состояния АД.

**Результат.** Анализ характерных несимметричных режимов питающего напряжения, которые наблюдаются при эксплуатации АД

осуществляется методом симметричных составляющих [5], который основан на представлении несимметричной системы напряжений в виде суммы составляющих: прямой  $U_{np}$ , обратной  $U_{obr}$  и нулевой  $U_0$  последовательности [5]. Для фазы А симметричные составляющие определяются по формулам [5]:

$$\begin{aligned}\underline{U}_{obrA} &= \frac{1}{3}(\underline{U}_a + a\underline{U}_b + a^2\underline{U}_c) = U_{obr}e^{j\psi_{obr}}, \\ \underline{U}_{npA} &= \frac{1}{3}(\underline{U}_a + a^2\underline{U}_b + a\underline{U}_c) = U_{np}e^{j\psi_{np}},\end{aligned}\quad (2)$$

$$\underline{U}_{0A} = \frac{1}{3}(\underline{U}_a + \underline{U}_b + \underline{U}_c) = U_0e^{j\psi_0}, \text{ где } a = e^{-j \cdot 120^\circ} \text{ – фазный множитель.}$$

Симметричные составляющие прямой и обратной последовательности для фаз В и С могут быть выражены через соответствующие симметричные составляющие фазы А [5]:

$$\begin{aligned}U_{obrB} &= a \cdot \underline{U}_{obrA}; \quad U_{obrC} = a^2 \cdot \underline{U}_{obrA}, \\ U_{npB} &= a^2 \cdot \underline{U}_{npA}; \quad U_{npC} = a \cdot \underline{U}_{npA}, \\ \underline{U}_{0A} &= \underline{U}_{0B} = \underline{U}_{0C}.\end{aligned}\quad (2)$$

Из (1)–(2) следует, что характеристиками несимметричного напряжения являются величины ( $U_{np}$ ,  $U_{obr}$ ,  $U_0$ ) и начальные фазы ( $\psi_{np}$ ,  $\psi_{obr}$ ,  $\psi_0$ ) симметричных составляющих. Для характеристики напряжения может быть использован также сдвиг по фазе между векторами  $U_{np}$  и  $U_{obr}$ :

$$\Delta\psi = \psi_{obr} - \psi_{np}. \quad (3)$$

В связи с тем, что в АД нулевой провод обычно не применяется (и, значит, токи нулевой последовательности в них замыкаться не могут) для характеристики несимметричного напряжения на зажимах АД используют величины:  $U_{np}$ ,  $U_{obr}$ ,  $\Delta\psi$  [7].

В качестве примера в табл. 1 представлены значения фазных напряжений и их симметричные составляющие при различных видах неисправности источника, полученные с использованием выражений (1)–(3). Из данных представленных в табл. 1 следует, что на характеристики несимметрии влияют как величины, так и начальные углы фазных напряжений. Например, чем больше по модулю отклонение начального угла фазы (табл. 1, пункт 2), тем больше напряжение обратной последовательности  $U_{obr}$ , а величина напряжение прямой последовательности  $U_{np}$  при этом практически не изменяется. Снижение напряжения одной из фаз (табл. 1, пункт 3) сопровождается снижением  $U_{np}$ , ростом  $U_{obr}$ .

Сдвиг по фазе между симметричными составляющими напряжений (табл. 1) вследствие отклонения амплитуд и начальных углов фаз может изменяться в широких пределах.

Например, чем больше по модулю отклонение начального угла одной из фаз (табл. 1, пункт 2), тем больше сдвиг по фазе между векторами  $U_{np}$  и  $U_{obr}$ . Диапазон изменения  $\Delta\psi$  (табл. 1) составляет  $(-180^\circ \div 180^\circ)$ .

Таблица 1

Характеристики несимметричного питающего напряжения

Вид неисправности	Фазные составляющие напряжений						Характеристики несимметрии		$K_{2U}$ %
	$\frac{U_A}{U_h}$	$\Psi_A$ , град	$\frac{U_B}{U_h}$	$\Psi_B$ , град	$\frac{U_C}{U_h}$	$\Psi_C$ , град	$\frac{U_{np}}{U_h}$	$\frac{U_{обр}}{U_h}$	
1. Симметричный режим	1,0	0	1,0	-120	1,0	120	1,00	0	0
2. Различные отклонения начального угла напряжения фазы А ( $\Psi_A$ )	1,0	20	1,0	-120	1,0	120	1,0	0,12	-107
	1,0	10	1,0	-120	1,0	120	1,0	0,06	-98
	1,0	-10	1,0	-120	1,0	120	1,0	0,06	98
	1,0	-20	1,0	-120	1,0	120	1,0	0,12	107
3. Различные отклонения действующего значения напряжения фазы А ( $U_A$ )	0,9	0	1,0	-120	1,0	120	0,97	0,03	180
	0,8	0	1,0	-120	1,0	120	0,93	0,07	180
	0,7	0	1,0	-120	1,0	120	0,9	0,10	180
4. Отклонение действующих значений двух фаз от номинальных значений	1,0	0	0,9	-120	0,95	120	0,93	0,03	0
	0,9	0	1,0	-120	0,9	120	0,93	0,03	-120
	0,9	0	0,9	-120	1,0	120	0,93	0,03	120
5. Отклонение действующих значений и начальных углов фаз от номинальных значений	0,9	0	1,0	-120	1,0	116	0,95	0,03	146
	1,0	4	0,9	-120	1,0	120	0,95	0,03	94
	1,0	0	1,0	124	0,9	120	0,95	0,03	26
6. Обрыв фазы А	0	0	1,0	-120	1,0	120	0,66	0,33	180
									50

Различные несимметричные режимы (табл. 1, пункты 4, 5) могут характеризоваться одинаковыми значениями симметричных составляющих ( $U_{np}$ ,  $U_{обр}$ ) и отличаться только величинами их начальных фаз. Например, несимметричные режимы, представленные в табл. 1 (табл. 1, пункты 4, 5), характеризуются равными величинами симметричных составляющих  $U_{np} = 0.93U_h$ ,  $U_{обр} = 0.03U_h$  и различными значениями их фазового сдвига.

Таким образом, в общем случае эксплуатация АД может сопровождаться изменением параметров несимметрии напряжения  $U_{np}$ ,  $U_{обр}$ ,  $\Delta\Psi$  в широких пределах. Различные режимы могут характеризоваться одинаковыми коэффициентами несимметрии ( $K_{2U}$ ) и разными симметричными составляющими прямой и обратной последовательности.

В качестве параметров несимметричного напряжения целесообразно использовать величины симметричных составляющих прямой ( $U_{np}$ ), обратной ( $U_{обр}$ ) последовательности и сдвиг по фазе ( $\Delta\Psi$ ) между ними.

**Заключение.** В работе обосновано, что государственный стандарт 2144–2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная» не учитывает ряд факторов:

1. Выражение для определения коэффициента несимметрии подразумевает, что сдвиг по фазе между векторами между симметричными составляющими напряжений равен 0. Однако на практике величина фазового сдвига может принимать значения в диапазоне  $\Delta\Psi = (-180^\circ \div 180^\circ)$ .

2. Различные режимы могут характеризоваться одинаковыми коэффициентами несимметрии и разными симметричными составляющими прямой и обратной последовательности.

3. В качестве параметров несимметричного напряжения на зажимах АД необходимо использовать величины симметричных составляющих прямой и обратной последовательностей и угол сдвига фаз между ними.

### **Список литературы**

1. Каширских В.Г. Функциональный контроль состояния асинхронных электродвигателей горных машин / В.Г.Каширских, В.М.Завьялов, А.В.Нестеровский, С.С.Переверзев // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2004: Материалы X Международной научно-практической конференции, 23-24 нояб. 2004. – Кемерово: КузГТУ, 2004. – С. 150-152.
2. Семыкина И.Ю. О разработке адаптированной системы для диагностирования состояния электроприводов горных машин / И.Ю.Семыкина, Р.А.Кольцов, А.Н.Гартаев // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2013. – №5. – С. 236–241.
3. Гуляев В.Г. Математическая модель для имитационного моделирования функционирования системы «очистной комбайн – забой» / В.Г.Гуляев, К.В.Жуков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2000. – №4. – С.129-131.
4. Маренич К.Н. Асинхронный электропривод горных машин с тиристорным коммутаторами / К.Н. Маренич.– Донецк: ДонГТУ, 1997. – 64 с.
5. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В.Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
6. Шелехова О.Г. Функциональная зависимость токов асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности, полученная безитерационным способом / О.Г.Шелехова // Междунар. научн.-техн. конф. "Проблемы повышения эффективности электромеханических преобразователей в электроэнергетических системах". – Севастополь. – 2015. – С. 63 -64.
7. 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.

УДК 537.86.029

## **ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

**Яновский А.В., Жинкина А.С.**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*a.zhinkina@donnu.ru*

Ультразвуковое излучение может быть использовано для передачи информации через среды, которые затрудняют использование других каналов связи (оптический, радиоканал) [1]. Особенности пьезокерамических излучателей и приёмников позволяют реализовывать высокоселективные приемо-передающие устройства.

Для практической проверки возможности передачи информации посредством ультразвукового излучения был разработан макет. Основой макета послужили излучатель AW8T40 и приемник AW8R40.

В качестве источника сигнала выступал генератор Г3-112, форма сигнала – синусоидальная, амплитуда – 1В. Для контроля частоты использовался частотомер Ч3-63. Пьезокерамический излучатель и приемник были размещены напротив друг друга, на расстоянии 15 см. К приемнику был подключен милливольтметр В3-38.

Результаты проведения измерений АЧХ макета в диапазоне 39.0...41.0 кГц приведены на рис. 1.

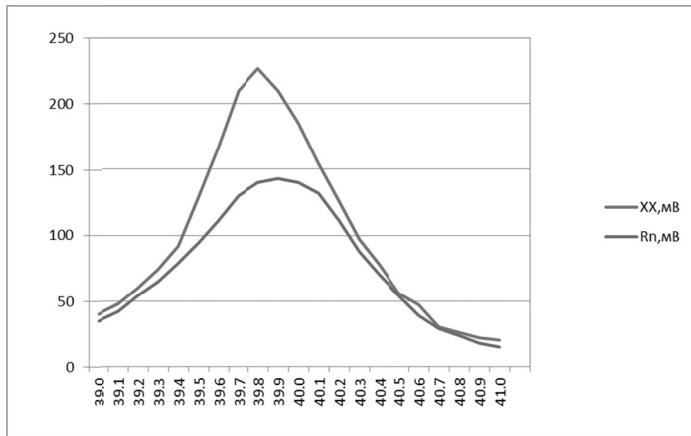


Рис. 2. Измеренная АЧХ макета (XX – без нагрузки, Rn – с нагрузкой 10кОм)

Как видно из представленной характеристики, амплитуда на приемнике на расстоянии от передатчика 15 см, без нагрузки, составила около 220 мВ, а с нагрузкой – 140 мВ. При увеличении расстояния до 30 см амплитуда на резонансной частоте без нагрузки, составила 62 мВ, а при расстоянии 45 см – 32 мВ. Частота резонанса находится в пределах 39.8...39.9 кГц.

В ходе дальнейшей работы был изготовлен передатчик, позволяющий производить амплитудную модуляцию ультразвукового излучения. Схема ультразвукового передатчика, представлена на рис. 2.

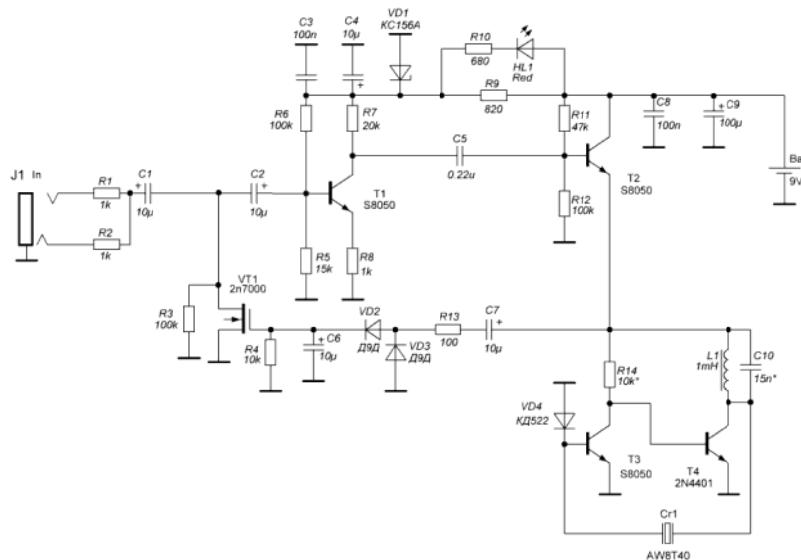


Рис. 2. Схема ультразвукового передатчика

Передатчик состоит из четырёх блоков: усилителя на транзисторе T1, эмиттерного повторителя на транзисторе T2, системы АРУ на транзисторе VT1 и диодном детекторе VD2VD3, генераторе на транзисторах T3T4. Особенностью данной схемы является включение пьезокерамического излучателя Cr1 в цепь обратной связи генератора, что позволяет поддерживать частоту генерации равную частоте резонанса пьезокерамического излучателя.

Осцилограммы напряжения на ультразвуковом излучателе при различных частотах входного сигнала амплитудой 0.1В, были сняты осциллографом С1-73 и представлены на рис. 3.

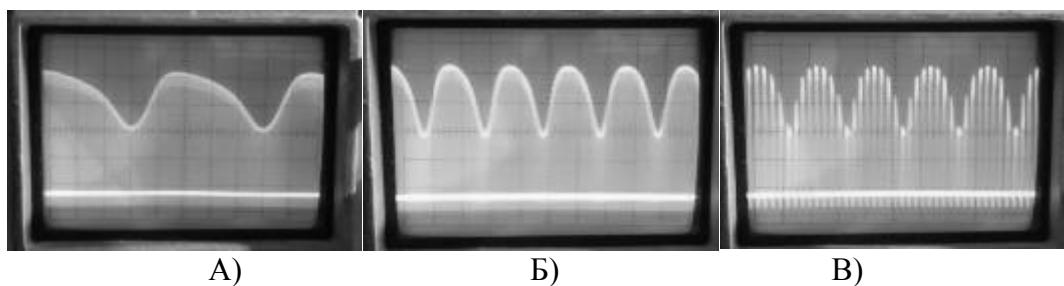


Рис. 3. Осциллограммы напряжения на излучателе, при входном сигнале: А) 100Гц (2В/дел; 2мС/дел); Б) 1кГц (2В/дел; 0.5мС/дел); В) 5кГц (2В/дел; 0.1мС/дел)

Частота генератора передатчика, измеренная частотомером ЧЗ-63, составила 39 821 Гц.

Для приёма и преобразования понятого сигнала был изготовлен приемник, схема которого приведена на рис. 4.

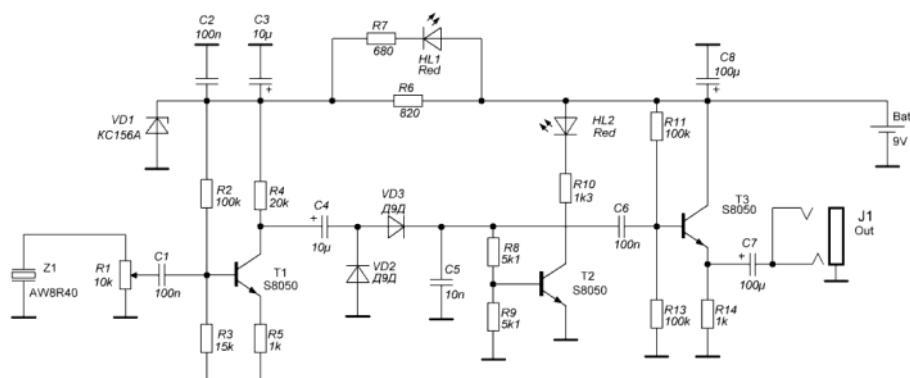


Рис. 4. Схема ультразвукового приемника

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.

В ходе эксперимента была измерена АЧХ разработанного макета. Передатчик и приемник располагались друг напротив друга, на расстоянии

0.5 метра. На передатчик поступал сигнал с генератора Г3-112 амплитудой 0.1 В. Сигнал с приёмника поступал на милливольтметр В3-38.

Измеренная АЧХ имеет вид, представленный на рис. 5.

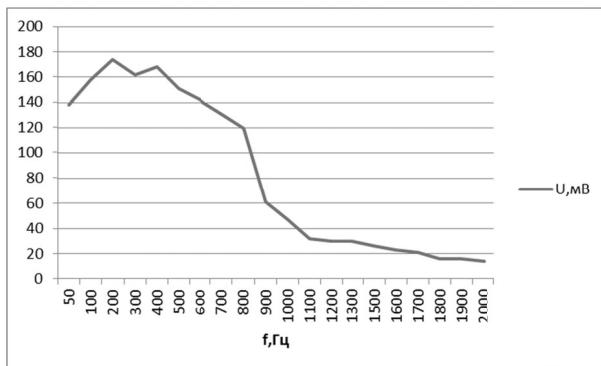


Рис. 5. Измеренная АЧХ макета

Из графика видно, что система имеет завал АЧХ на частотах выше 800Гц. Была проверена глубина модуляции на излучателе передатчика и пьезокерамическом приёмнике, и было выявлено, что завал АЧХ вызван пьезокерамическими элементами. Данное явление можно объяснить высокой добродельностью пьезокерамических приборов, что говорит о необходимости разработки специализированных драйверов пьезокерамических излучателей для расширения АЧХ приемо-передающих трактов на их основе.

### Список литературы

1. Олейников А.Н. Ультразвуковые методы защиты речевой информации: ISSN 0485 – 8972 Радиотехника. Вып. 169 176 УДК 621.37. – 2012.

УДК 621.373.9

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛА В СИСТЕМАХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УТЕЧКАМ ИНФОРМАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ РАДИОКАНАЛА

**Яновский А.В., Жинкина А.С., Гмыря В.А.**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*va990307@gmail.com*

Обобщенная упрощённая структурная схема системы противодействия утечкам информации посредством радиоканала представлена на рис.1.

Модулятор (Мод.) осуществляет управление по заданному закону изменения частоты от времени, генератором, управляемым напряжением (ГУН). В качестве генератора может быть использован синтезатор с петлей ФАПЧ. Сигнал с ГУН - а поступает на усилитель мощности (У), который

увеличивает мощность до необходимого значения для передачи на антенну. После генератора может быть установлен фильтр, например, для выделения полосы помехи или же срезания гармоник сигнала.

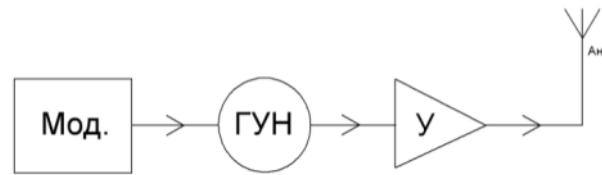


Рис.1. Упрощённая структурная схема

В связи с трудностью получения большого перекрытия по частоте одним каланом, применяют комбинацию из нескольких каналов, различающихся начальными и конечными частотами. Данная мера усложняет устройство.

Для формирования широкополосного заградительного сигнала предлагается применить гармонические составляющие сигнала ГУН-а. Упрощённая структурная схема постановщика помехи, реализующая данный метод приведена на рис.2.

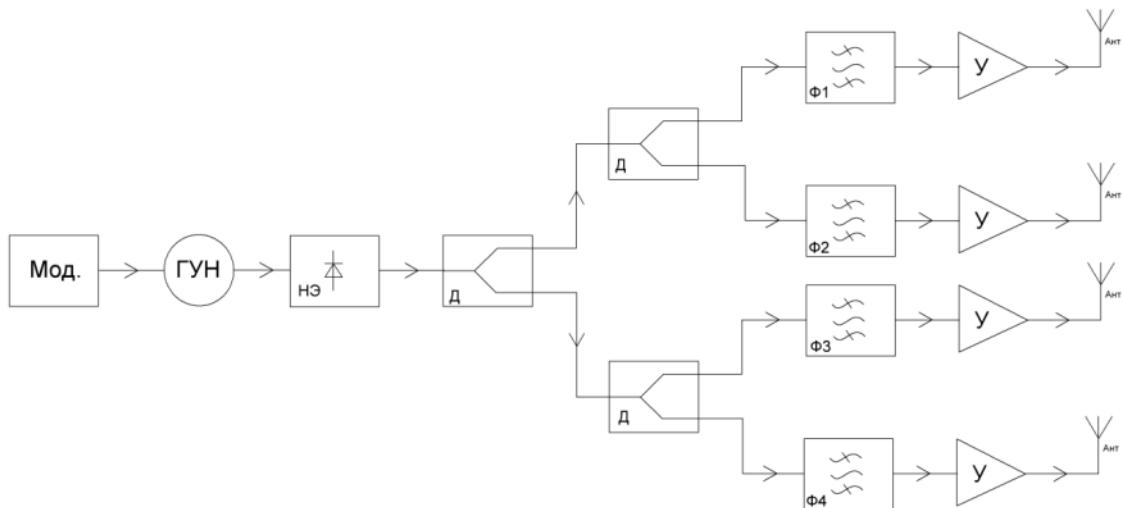


Рис.2. Упрощённая структурная схема постановщика помехи с использованием гармонических составляющих

Основным отличием предложенной структурной схемы от схемы приведенной на рис.1. является включение нелинейного элемента (НЭ), а качестве которого может выступать диодный ограничитель, транзистор в классе С, интегральный умножитель частоты и т.п. Основная задача данного элемента уменьшить соотношение фундаментальной частоты и гармоник в сигнале ГУН-а. Далее сигнал разветвляется на необходимое количество каналов при помощи делителей (Д). Разветвленный сигнал поступает на полосовые фильтры (Ф) которые выделяют необходимые полосы частоты для последующего усиления и передачи на антенны.

В данном устройстве можно использовать явление «смыкания полос» перекрываемых гармониками и фундаментальной частотой при использовании ГУН-а с перекрытием в октаву.

Преимуществом данного метода формирования заградительного сигнала является применение одной задающего генератора и одного ГУН-а для формирования широкополосной помехи. Например, ГУН с перекрытием 50...100МГц, в данном включении и использовании с первой по четвертую гармонику, перекрывает диапазон 50...800 МГц.

Недостатком подложенного метода является уменьшение поведённой мощности к полосе частоты, так как полоса перекрываемая каждой следующей гармоникой в два раза больше полосы предыдущей гармоники. Компенсировать данный недостаток можно увеличивая мощность каналов, работающих на частотах высших гармоник пропорционально номеру гармоники.

### **Список литературы**

1. Торокин А.А. Инженерно-техническая защита информации: Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям в обл. информ. безопасности / А.А.Торокин. – М.: Гелиос АРВ, 2005. – 960 с.

# *Дидактика физики*

УДК 378.147

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА» ДЛЯ СТУДЕНТОВ АТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО ПРОФИЛЯ**

*Барбашова М. В.*, канд. техн. наук,

Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «Донецкий национальный  
технический университет», г. Горловка, ДНР  
*barbashova1987@gmail.com*

**Введение.** В настоящее время, абитуриенты, которые приходят на первый курс получать высшее образование, а конкретно в Горловский Автомобильно-дорожный институт, имеют в основном слабую базу школьных знаний по фундаментальным дисциплинам: математика, физика, химия и т.д. Это в принципе было неизбежно, так как начиная с 2014 года Донецкая Народная Республика потеряла немало достойных кадров. Это касается не всех школ города Горловки, но достаточного процента. Недостаток квалифицированных специалистов в школах нашего города, и как следствие, обучение без особого подхода (интереса) и сокращение часов обучения до минимума – основные проблемы препятствующие пониманию данной дисциплины школьниками.

В связи с этим, хочется отметить тот факт, что современное школьное образование должно идти в ногу со временем, и больше обращать внимание на творческую, исследовательскую, самостоятельную деятельность школьников, но конечно, без вложений средств в развитие образования и оснащения школ необходимым наглядным оборудованием, не обойтись. Поучительным примером служит дружественная Российская Федерация, которая за последние годы школьное образование подняла на новый уровень, и как следствие, увеличила качество образования.

**Цель данной работы** – раскрыть особенности преподавания дисциплины «Физика» студентам автомобильно-дорожного профиля, на примере лабораторного практикума.

**Основная часть.** Структура курса общей физики и его объем составляют основу методики преподавания в технических высших учебных заведениях. Для подготовки студентов различных специальностей автомобильно-дорожной отрасли систематическое уменьшение количества аудиторных часов вызывает существенные трудности, поскольку обширный и сложный материал необходимо изучить в сравнительно короткое время. Так, например, на «Дорожно-транспортном факультете» распределение нагрузки для обучения физике было сокращено до 2-х семестров, и составные части – это лабораторный практикум и

практические занятия, были сокращены до одной пары в две недели, а часть, которая отводится на самостоятельную работу, составляет практически половину всего времени.

Выделение достаточно большого объема часов (до половины и выше) на самостоятельную работу не спасает ситуацию, так как студенты первого курса еще не имеют достаточной подготовки и опыта, чтобы самостоятельно усвоить новый материал сложного уровня.

В данной работе хотелось бы освятить некоторые особенности проведения лабораторного практикума по дисциплине «Физика» в АДИ ГОУВПО «ДОННТУ» [1]. Компетентность, профессиональность, конкурентоспособность студента зависит от того, как будут организованы лабораторные и практические занятия, какие средства и методы будут использованы преподавателем при их проведении.

Учебные лаборатории по физике в Горловском автомобильно-дорожном институте оснащены большим количеством лабораторных работ необходимых для закрепления изученного материала. На базе кафедры «Общеинженерных дисциплин» расположены две лаборатории «Механика и молекулярная физика» и «Электромагнетизм, оптика, физика твердого тела и атомная физика». В каждой из этих лабораторий находятся не менее 15 работ для выполнения необходимых экспериментов.

Так как термин «Лаборатория» связан с применением умственных и физических усилий для разрешения возникающих научных и жизненных задач, то лабораторный практикум направлен на развитие у будущих специалистов интеллектуальных и практических умений.

Задачи лабораторного практикума:

- усвоение различных зависимостей теоретической части курса, и экспериментальное исследование позиций материала, освещенного на лекциях;
- опытным путем исследовать устройства и приборы, а также изучить внутренние принципы действия изучаемых объектов;
- изучить контрольно-измерительное оборудование;
- получить навыки использования типового контрольно-измерительного оборудования в изучаемой отрасли.

В начале лабораторного практикума производится опрос студентов для их четкого понимания задачи и цели исследования, для этого разработаны подробные учебно-методические указания [2] к выполнению каждой работы, и у каждого есть специальная «Рабочая тетрадь» в которой находятся все экспериментальные формулы, таблицы для заполнения измерений, и отдельно отведенное место для расчетов, графиков и выводов. Наличие у студентов такой тетради необходимо для того, чтобы они не тратили много времени на написание вручную теоретических указаний и хода работы, а потратили его на то, чтобы разобраться с теорией и оборудованием, участвующем в эксперименте.

После проведения всех необходимых измерений любой опытный исследователь должен заняться обработкой полученных данных для

вычисления необходимой физической величины, построение экспериментальной кривой и анализом полученных результатов, а также провести их статистическую обработку. Этому, соответственно, и пытаемся научить студентов 1<sup>го</sup> и 2<sup>го</sup> года обучения. Наши учебные лаборатории снабжены компьютерами, в которых содержаться специальные программы для каждой работы, где студенты могут внести экспериментальные данные, и сразу же получить подсчет исследуемых физических величин, экспериментальные и теоретические кривые, необходимые для сравнения и анализа, и показана статистическая обработка результатов с выводом погрешностей измерений. К сожалению, как показывает практика, если всю обработку данных осуществлять с помощью компьютерных программ, то в итоге студенты даже не интересуются по какой экспериментальной формуле ведётся подсчет, и что в нее входит. Поэтому было решено применить смешанный подход, то есть, студент выполняет все вычисления в «Рабочей тетради», а с компьютером работает уже после, для проверки полученных результатов, построения графиков и статистической обработки данных.

Обязательным на первом занятии является ознакомление студентов с «Теорией погрешностей», поэтому выполняется первая лабораторная работа «Отработка методики проведения измерений и расчетов их ошибок с помощью установки для определения удельного сопротивления резистивного провода». После защиты этой работы, получив теоретические знания закрепленные экспериментом по данной теме, при дальнейшем выполнении других работ, студенты могут получать уже из компьютера результаты статистической обработки данных.

Обязательным требованием при оформлении и защите лабораторной работы является грамотно написанный вывод, который должен в себе содержать анализ экспериментальных данных, четко сформулированные фразы о проделанной работе, а также объяснение причин погрешностей, которые возникли в ходе эксперимента. Как следствие из этого – развитие у студентов логически правильного выражения мысли.

**Заключение.** Лабораторный практикум как составная часть подготовки будущих специалистов, направлена на развитие их интеллектуальных и практических умений. Систематический подход в организации занятий обеспечит успешное выполнение всех задач, поставленных перед студентом.

## Список литературы

1. Барбашова М.В. Совершенствование методики преподавания дисциплины «физика» для студентов Автомобильно-дорожного института «ДОННТУ» г. Горловки / М. В. Барбашова, М. С. Сербул // «Проблемы и пути совершенствования учебной, учебно-методической и воспитательной работы» [Электронный ресурс]: Материалы VII науч.-метод. конф., г.Донецк, 3 янв. 2019 г. / ГОУВПО «ДОННТУ». –С.37-42.
2. Методические материалы кафедры ОНД [Электронный ресурс] / URL: <http://ea.donntu.org:8080/jspui/handle/123456789/11567>.

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ЛЕКЦИОННЫМ ДЕМОНСТРАЦИЯМ

**Бешевли Б.И.**, канд. техн. наук, доцент,  
**Пустынникова И.Н.**, канд. пед. наук, доцент,  
**Дёмина О.Б.**

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

Традиционно считается, что целью обучения является процесс получения обучаемым определённого объёма знаний, умений и навыков (ЗУН) по конкретному предмету. Причем они должны иметь системный характер. В общефилософском смысле понятие «система» (греч. Σύστημα «целое, составленное из частей; соединение») – совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих определённую целостность и единство [1].

Однако в современном мире при изучении фундаментальных образовательных курсов добавляется ещё одна цель, это развитие интеллекта у учащихся. Интеллект, по Стернбергу, есть способность учиться и решать задачи в условиях неполного объяснения. Х.Гарднер выделяет специфический вид интеллекта: логико-математический, который определяет способность исследовать, классифицировать категории и предметы, выявлять отношения между символами и понятиями путем манипулирования ими [2].

В обучении общей физике основным является не запоминание знаний, а их глубокое усвоение. Студенты не только должны знать физическую теорию, но и уметь размышлять, искать и находить приложение этих знаний.

При изучении физики, как естественнонаучной фундаментальной дисциплины, развитие ЗУН возможно лишь после формирования физических понятий и образов. Между физическими понятиями и образами существует тесная взаимосвязь. Особенno большая роль наглядных образов при изучении абстрактных понятий. Если при изучении понятий не использовать чувственных образов, то полученные знания будут формальными, поверхностными. Кроме того, оперируя только абстрактно-формальными понятиями невозможно развить у учеников интереса к предмету, показать необходимость его изучения.

В основе методологического подхода при изучении физики лежат исследовательский и практико-ориентированный принципы, а основным методом является моделирование, когда в сложном явлении, объекте выделяют только основные характерные факторы. В случае физических исследований выделяют два вида моделирования: математическое (означает аналитическое исследование сложных явлений на основе

уравнений, соответствующих им) и физическое (экспериментальное исследование природных явлений на лабораторных установках).

Лекционные демонстрации, являющиеся неотъемлемой частью курса общей физики, относятся именно к физическому моделированию. Демонстрации – не дополнение к словесному изложению курса, а его неотъемлемая, органическая часть. Хорошо поставленная демонстрация повышает интерес слушателей, действуя не только на умственную, но и на эмоциональную сферу, на воображение. Основной особенностью лекционного эксперимента является его активное участие в процессе формирования понятий. Он выступает в качестве средства, которое помогает привести студента наиболее коротким путем к пониманию сути физических явлений, выявлению закономерностей их протекания.

В основе лекционных демонстраций, как технологии обучения, лежит метод обучения, строящийся на основе показа обучающимся в целостности и деталях реальных событий жизни, явлений природы, научных и производственных процессов, действия приборов и аппаратов в целях их аналитического рассмотрения и обсуждения связанных с ними различных проблем. Сущность этого метода состоит в том, чтобы с помощью различных действий и средств создать у обучаемых наглядный образ изучаемого предмета или явления, сформировать конкретные представления о его сути и содержании. Он служит преимущественно для раскрытия динамики изучаемых явлений, но широко используется и для ознакомления с внешним видом предмета, его внутренним устройством или местоположением в ряду однородных предметов.

Важнейшим качеством любой технологии выступает системность, как особое качество множества определенным образом организованных компонентов, выражающееся в наличии у этого множества интегральных свойств и качеств, отсутствующих у его компонентов [3]. Системность физики как предмета обучения является непосредственным следствием системной природы изучаемой области, выражаемой в определенных научных понятиях. Лекционные демонстрации должны базироваться на дидактическом и психологическом обосновании методов, форм и средств обучения, развивать у студентов самостоятельность в изучении дисциплины, уметь использовать физические знания при формировании профессиональных компетенций. Важнейшим фактором является то, что система должна быть «чувствительна» как к результатам своего функционирования, так и к работе каждого из компонентов. Оптимальная методика учебной работы требует обратной связи, т.е. информации о состоянии системы не только по тому, что пройдено, т.е. по входным данным, но и по тому, что усвоено и понято в процессе изучения предмета.

При проведении физического эксперимента необходимо иметь в виду, что изучение любого физического явления должно носить системный характер, т.е. при изучении явления должны рассматриваться не только все

элементы системы в отдельности, но и их связи и отношения в условиях функционирования всей системы как целого. Следует учесть, что между частями и целым существует сложная функциональная зависимость. Поэтому развитие научного мышления у учащихся с использованием лекционного эксперимента необходимо проводить с изучением отдельных частей явления без разрушения целого. В науке и практике существует множество примеров тому, что игнорирование целостного подхода к изучению объекта приводило к нежелательным последствиям. Например, отсутствие внимания к такому фактору, как изменение сопротивления при нагревании металлического проводника, не позволяет учителю провести достаточно убедительную демонстрацию соблюдения закона Ома, если в качестве резистора он будет использовать лампочки накаливания.

Как правило, все основные явления, составляющие предмет лекции, должны демонстрироваться на опыте. В методическом отношении демонстрации делают всякое явление более ясным для слушателей, чем при простом словесном его описании, и содействуют более легкому усвоению и запоминанию фактов. Хорошо поставленная демонстрация повышает интерес слушателей, действуя не только на их умственную, но и на эмоциональную деятельность, на их воображение. Поэтому нужно учитывать не только учебно-методическое содержание демонстрации, но и ее художественную форму. Демонстратор, помимо знаний и навыков экспериментальной техники, должен обладать также в некоторой мере художественным вкусом и чутьем.

Планируя лекции, необходимо позаботиться, чтобы все важнейшие упоминаемые явления и законы могли быть продемонстрированы. При этом следует соблюдать меру в отношении числа демонстраций; оно не должно быть слишком велико, чтобы не создавать впечатления какой-то калейдоскопической пестроты и не затруднять запоминания отдельных моментов; с другой стороны, оно не должно быть скучным, иначе продолжительные промежутки словесного изложения между демонстрациями могут притупить внимание слушателей. Если в ходе теоретических рассуждений помимо окончательных результатов можно проиллюстрировать и промежуточные, то следует, не откладывая до конца изложения, демонстрировать каждый промежуточный вывод в ходе лекции.

### **Список литературы**

1. Селевко Г.К. Энциклопедия образовательных технологий. В 2-х т. Т. 2. – М.: Народное образование, 2005.
2. Алексеев В.М Общая теория интеллекта, мышления, IQ. Часть II. – М.: Наука, 2002, 136 с.
3. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. – М.:Наука, 1973. – 270 с.

## МНОГОУРОВНЕВАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ

*Бирюкова И.П.*<sup>1</sup>, канд. пед. наук, доцент,  
*Панюшкин Н.Н.*<sup>2</sup>, д-р техн. наук, доцент

<sup>1</sup> ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ  
*ipbir95@mail.ru, nnpan@yandex.ru*

Специальная организация лабораторного практикума по физике, направленная на выполнение обучающимися разносторонних исследований изучаемых физических явлений, предоставляет широкие возможности для формирования общекультурных и исследовательских компетенций, что является важной составляющей общеобразовательной подготовки в технических вузах. Для этого целесообразна разработка комплексных лабораторных работ, предполагающих применение различных экспериментальных методик и лабораторных установок для изучения одного физического явления, а также использование информационных технологий.

В то же время различный начальный уровень подготовки студентов требует разработки методики проведения лабораторных работ, предусматривающей индивидуальные траектории обучения, основанные на оптимальном соотношении репродуктивных, частично-поисковых и исследовательских заданий. Поэтому для осуществления дифференцированного подхода к организации учебной деятельности студентов при выполнении комплексных лабораторных работ разрабатываются многоуровневые системы учебно-исследовательских заданий, сгруппированных по трем уровням сложности [1]. Задания первого уровня предназначаются, в основном, студентам, будущая профессиональная деятельность которых не связана с изучаемыми физическими явлениями. Задания второго уровня рекомендуются студентам, будущая профессиональная деятельность которых связана с эксплуатацией и обслуживанием технических устройств или осуществлением технологических процессов, функционирование которых основано на изучаемых физических явлениях. Задания третьего уровня предлагаются обучающимся, которые готовятся к проектно-конструкторской и научно-исследовательской деятельности, связанной с разработкой и усовершенствованием технических устройств и технологических процессов.

Учебно-исследовательские задания классифицируются по уровням сложности по следующим показателям: сложность методики эксперимента и

используемой лабораторной установки; объем выполняемого исследования; объем необходимых теоретических знаний; сложность используемых теоретических моделей; степень самостоятельности студентов при выполнении работы и полнота методических указаний; сложность методов обработки и наглядного представления результатов экспериментов.

Разработанная по рассматриваемой методике комплексная лабораторная работа направлена на формирование целостной системы знаний характеристик и закономерностей электромагнитных колебаний, а также исследовательских компетенций обучающихся.

На первом уровне предлагаются задания на исследование резонансных явлений в последовательном колебательном контуре, включающие построение резонансных кривых напряжения на конденсаторе для двух значений активного сопротивления и определение соответствующих добротностей контура по отношению амплитуды резонансного напряжения на конденсаторе к амплитуде входного напряжения. Измерения производятся как с помощью вольтметра, так и с помощью осциллографа. К заданиям первого уровня сложности относятся также задания на исследование затухающих электромагнитных колебаний, включающие получение осцилограмм при различных активных сопротивлениях колебательного контура и определение по ним соответствующих логарифмических декрементов затухания и добротностей контура. Дополнительно предлагается разработать методику и определить экспериментально и теоретически критическое сопротивление контура, при котором колебания не возникают.

Выполнение заданий первого уровня формируют минимальный объем знаний и умений, обязательный для каждого студента при изучении данной темы. Характер познавательной деятельности обучающихся в основном репродуктивный. При этом для развития исследовательских компетенций студентов необходимо обсуждение с преподавателем методики выполнения эксперимента и применяемой теоретической модели. Обсуждение организуется постановкой проблемных вопросов, стимулирующих выдвижение гипотез (метод эвристической беседы).

На втором уровне также предлагаются задания на исследование резонансных явлений в последовательном колебательном контуре, но строятся резонансные кривые силы тока для различных значений активного сопротивления и определяются соответствующие добротности контура по относительной полуширине резонансной кривой. Для сравнения измеряются амплитуды резонансного напряжения на конденсаторе и амплитуды входного напряжения для заданных значений активного сопротивления и определяются соответствующие добротности по их отношению. Также исследуются зависимости резонансной частоты и добротности контура от емкостей конденсаторов и индуктивностей катушек, включаемых попеременно в контур. Характер познавательной

деятельности студентов на втором уровне частично-поисковый, основное внимание уделяется этапам планирования эксперимента, выдвижению и проверке гипотез, объяснению результатов экспериментов на основе изучаемых теоретических положений. В сравнении с первым уровнем, обучающиеся должны проявлять большую самостоятельность на всех этапах эксперимента.

На третьем уровне предлагается система заданий на совместное исследование резонансных явлений в последовательном и параллельном колебательных контурах. Задания включают выявление особенностей резонансов напряжений и токов, определение резонансных частот и добротностей контуров по соответствующим резонансным кривым, а также фазовых соотношений по полученным осцилограммам. Выполнение заданий третьего уровня требует развитого аналитико-синтетического мышления и знаний методологии проведения экспериментальных исследований. На этом уровне не даются подробные указания к выполнению поставленных заданий, предлагается только описание лабораторной установки, а обучающиеся сами разрабатывают методику эксперимента, осуществляют его планирование и самостоятельное проведение. Выполнение такого разностороннего исследования, анализ и сравнение результатов измерений, объяснение полученных различий формируют знания законов физики на уровне моделирования, развивают исследовательские и общекультурные компетенции, такие как способности к критическому осмыслению, систематизации, прогнозированию, способности выявлять физическую сущность профессиональных задач, применять методы физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования для их решения.

Предлагаемая многоуровневая методика организации лабораторных работ по физике обеспечивает достижение целей обучения студентами с различным уровнем подготовки. Оптимальный подбор заданий позволит эффективно использовать учебное время и достигнуть необходимого для конкретного направления подготовки уровня сформированности исследовательских компетенций.

## **Список литературы**

1. Бирюкова И.П. Методика многоуровневой организации экспериментальных исследований вращательного движения в лабораторном практикуме по физике / И.П. Бирюкова, А.Ф. Сидоркин // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты: сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2015. – С. 61–65.

## ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ КИНЕМАТИКИ КУРСАНТАМ

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

*Фёклин В.Н.*, канд. физ.-мат. наук

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского

и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ

*grigoryev\_eu@mail.ru*

Для гармоничного развития личности будущего офицера обязательным является его обучение и воспитание с одной стороны – военным персоналом, с другой стороны – гражданским. Особенность организации учебно-воспитательного процесса в военном вузе заключается в том, что курсант включён на протяжении всего периода обучения в педагогический процесс в качестве объекта воспитания. Он имеет возможность в реальном времени наблюдать воспитательную деятельность командиров и гражданского персонала, анализировать и систематизировать полученный опыт, использовать лучшее для своей будущей работы.

Безусловно, профильным дисциплинам в военных вузах уделяется основное значение, но на младших курсах есть общеобразовательные предметы, включающие в себя изучение точных наук (математика, физика), которые помогают адаптироваться бывшим школьникам к учебному процессу в военном вузе. Важно найти точки соприкосновения всех изучаемых предметов, установить междисциплинарные связи, показать важность уже имеющихся знаний и их использование для получения новых [1]. Именно на этом этапе становления личности будущих офицеров необходима совместная работа военного и гражданского персонала.

На лабораторных занятиях исследовательская работа курсантов является обязательным атрибутом образовательного процесса военного вуза. Этой деятельности обучающихся уделяется особое внимание. К примеру, при изучении баллистических характеристик движения тела в гравитационном поле Земли можно определять не просто высоту, дальность, скорость полёта шарика, а связать физические законы с практикой. Для броска тела под углом к горизонту можно использовать в качестве иллюстрации прототипы боевых орудий – гаубицы дальнего боя, миномёта, противотанкового ружья, зенитки и др., а также определять возможную цель – на земле, под землёй или в воздухе.

Далее можно привести типовую задачу по кинематике [2]. С башни высотой  $h = 828$  м вертикально вверх брошено тело с начальной скоростью  $v_0 = 10$  м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите время падения тела на землю.

Эту задачу можно переформулировать так, чтобы она вызвала заинтересовать у курсантов. Например, следующим образом. С авианосца

поднялся самолёт. На высоте  $h = 828$  м – в момент вертикального взлёта – был сброшен буй. Определите время, через которое буй упадёт в море, если в момент его сброса самолёт поднимался со скоростью  $v = 10$  м/с. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Также исследовательская работа курсантов может быть предусмотрена при выполнении ими самостоятельной работы. В ходе самоподготовки курсанты могут выйти за рамки рекомендованной учебной литературы и подготовить отчёт в форме доклада по определённой теме. Это подразумевает анализ литературы, на основании чего курсантами делаются выводы и умозаключения.

Помочь адаптироваться курсантам младших курсов к новой жизни может создание развёрнутой системы дополнительного образования внутри вуза – это всевозможные научные общества по всем предметам, проведение предметных конференций и возможность выступлений на них. Такие мероприятия поднимут уровень самоуважения курсантов и уверенности в себе.

### **Список литературы**

1. Подход к восстановлению непрерывности физического образования в образовательном пространстве «Школа – технический вуз» / Н.Н. Безрядин, Т.В. Прокопова, Я.А. Болдырева, Т.А. Рожкова. – Наука и школа. – 2011. – Вып. 5. – С. 56 – 58.
2. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики для втузов / Т.И. Трофимова. – М.: Мир и образование, 2005. – 384 с.

УДК 372.853

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К АКТИВИЗАЦИИ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ**

**Корнеева М.А., Головчан А.В.** канд. физ.-мат. наук, доцент  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*k0rneeavamari@yandex.ru*

В наше время новые технологии значительно расширили степень влияния окружающего мира на подрастающее поколение. Происходит переоценка ценностей, расслоение общества, изменение психологического стереотипа людей. Школа - часть общества, и в ней, как в капельке воды, отражаются также проблемы, что и во всей стране.

Постоянно растущий объём информации, её многопрофильность, привели к тому, что ни у кого не вызывает сомнения о том, что знать и уметь всё невозможно. Поэтому наиболее ценным стало умение добиться цели через смежные знания, искать и находить решение. А одним из главных

качеств личности ученика становится его готовность к самостоятельной деятельности по сбору, обработке, анализу и организации информации, умение принимать решения и доводить их до исполнения. Поэтому слова Л.Н.Толстого *«Знание только тогда знание, когда оно приобретено усилиями своей мысли, а не памятью»* стали опять актуальными.

Соответственно, меняются и задачи учителя. Теперь он должен быть не только и не столько источником информации, дающим знания, но и организатором самообразования учащихся, побуждающим к творческому поиску. Надо искать индивидуальные пути, что может быть осуществлено только в результате совместной творческой деятельности учителя и ученика.

Последнее время обучение школьников физике происходит с непосредственным применением компьютеров, Интернета и других составляющих информационных технологий, и нужно признать, что с каждым годом данная тенденция лишь усиливается. Дети с удовольствием изучают науку, если информация подается в современном формате. Нужно признать, что за последние годы жизнедеятельность учащихся достаточно сильно изменилась. С самого раннего возраста школьники активно «юзают» мобильные телефоны, планшеты и ноутбуки, общаются в социальных сетях, изучают информацию, посещая научные порталы. Все это дает возможность получить любую информацию, воспользовавшись любимым «гаджетом», и физика не есть исключение.

В данных тезисах рассмотрим общие особенности применения информационных технологий при обучении физике. Как выяснилось, компьютеры и Интернет можно использовать практически на каждом уроке, более того – информационные ресурсы очень важны при домашнем обучении (к примеру, если школьник не посещает занятия по болезни). Нужно лишь правильно спланировать учебный процесс.

Сочетание компьютерных технологий и классических методов преподавания физики должно дать высокий уровень усвоения фундаментальных знаний по физике и осознание их практического применения. Использование новых методик – средство поддержать заинтересованность предметом. Мультимедийные средства не только поддерживают желание познавательной деятельности, но и инновируют предмет, делают его ближе и наглядней [1].

На уроках могут широко использоваться презентации, которые позволяют повысить интерес к изучению предмета. Это даёт возможность преподавателю проявить творчество, индивидуальность, избежать формального подхода к проведению уроков.

Презентации используют как для демонстрации на мультимедийной доске, так и для работы за компьютером в режиме просмотра или в интерактивном режиме.

Учитывая современные тенденции к развитию науки, можно отметить, что мультимедийные презентации гарантируют возможность:

- а) одновременно задействовать слуховой и зрительный каналы восприятия информации;
- б) проводить уроки по физике на высоком эстетически-эмоциональном уровне (компьютер в современных условиях способен манипулировать звуком и видео для достижения спецэффектов, воспроизводить звук и видео, включая анимацию);
- в) привлекать большее количество дидактического материала (это помогает детям глубже погрузиться в изучаемый материал, осуществлять учебный процесс в более облегченной психологической форме);
- г) менять формы обучения и виды деятельности в рамках одного урока (урок делается более насыщенным и полноценным);
- д) реализовывать игровые методы на уроках;
- е) проводить интегрированные уроки, тем самым обеспечивая усиление межпредметных связей;
- ж) осуществлять работу, как в малых группах, так и в индивидуальном порядке;
- з) обеспечивать интерактивные формы контроля навыков, умений и знаний.

Так же можно не только с помощью презентаций сделать урок ярким и запоминающим, еще существуют множество программ и методических пособий, с помощью которых можно урок сделать более интересным. Одна из таких программ – среда программирование языка Scratch [2].

С помощью этой программы можно наглядно показывать различные предметы, движение, и.т.

Одним из принципиальных достоинств данной среды является то, что она является свободно распространяемым программным продуктом, таким образом, любое образовательное учреждение может скачать программу из Интернет, и приступить к непосредственному изучению и работе в новой среде программирования .

Итак, урок в школе, насыщенный элементами компьютерных «примочек», обладает рядом преимуществ:

- визуальная составляющая. Данный момент обеспечивается благодаря наличию на уроке физики проектора, ноутбука и презентации, наглядно описывающей то, какой теме посвящено занятие;
- экономия времени учащегося. Вместо того, чтобы писать конспект – ученик может просто распечатать необходимый материал для дальнейшего домашнего изучения, тем самым за одно и то же учебное время можно изучить больше тем.

Информационные технологии всецело расширяют возможности учащихся в процессе изучения физики, так как предоставляют возможность применять на практике многочисленные компьютерные элементы (электронные книги, презентации, программное обеспечение).

При помощи информационно-компьютерных технологий есть возможность более многогранно «захватывать» внимание учащихся. В качестве примера можно привести пару сравнение: компьютерное тестирование намного интереснее проходить, нежели в классическом варианте с ручкой и листочком; а благодаря мультимедийным презентациям информация лучше запоминается, чем просто под диктовку учителя.

### **Список литературы**

1. <http://urok.1sept.ru/> Современные образовательные технологии на уроках физики
2. Книга юных программистов на Scratch.// Голиков Денис, Голиков Артём/2013

УДК 371.322.9:53

## **СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ КОМИКСОВ И АНИМАЦИИ ДЛЯ УРОКОВ ФИЗИКИ**

***Пустынникова И. Н.,* канд. пед. наук, доц.  
*Юдина В. С.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*yudina.viktorya@yandex.ua*

**Введение.** Педагогика сегодняшнего дня требует от учителя не только глубоких знаний предмета, но и высокого уровня методической подготовки. Самая главная задача любого учителя – привлечь внимание к своему предмету, заинтересовать учеников. Интерес к предмету осознается учащимися раньше, чем другие мотивы, им они чаще руководствуются в своей деятельности, он для них более значим, и поэтому является действенным, реальным мотивом учения.

**Цель** – разработка иллюстративных пособий (комиксов и анимации) для повышения заинтересованности учащихся в изучении физики

**Основная часть.** В педагогике одним из главных принципов обучения является принцип наглядности. На уроках иллюстративный материал используют для решения различных учебных задач: он может быть источником новых знаний, материалом для обобщения, иллюстрацией рассказа учителя или ученика, средством мотивации. Стоит отметить, что понятие иллюстративный материал включает в себя не только иллюстрации, но еще и их речевое сопровождение.

В школе объяснительно-иллюстративный метод используют всегда в сочетании с другими методами обучения. Возрастные и психологические особенности учащихся седьмых-восьмых классов требуют неоднократной смены видов их деятельности для эффективной организации восприятия и усвоения учебного материала. В старших же классах школы использование объяснительно-иллюстративного метода в течение целого урока возможно,

если урок изложения нового материала построен в форме лекции. Таким образом, объяснительно-иллюстративный метод обучения является одним из самых распространенных.

Наглядность помогает учителю перейти от конкретного образа к абстрактному и предполагает опору не только на зрение, но и на слух. В качестве наглядности могут выступать и специально разработанные образовательные комиксы и учебная анимация.

Использование на уроке обучающих комиксов или анимации по физике позволяет учащимся наглядно представлять явления и, тем самым, способствует процессу формирования понятий, активизируя познавательную деятельность учащихся [1]. Как комиксы, так и анимация должны вызывать удивление и потребность обратиться к соответствующему параграфу учебника.

Невербальные компоненты комикса включают в себя графику (последовательность рисунков, каждый из которых обрамлен рамкой и образует кадр), вербальный компонент комикса содержит текст. Между кадрами существует горизонтальная связь, соответствующая развитию сюжета. По мнению психологов, у большинства современных детей развита «клиповость» мышления, поэтому школьники готовы с интересом вникнуть в развитие предложенного на картинках сюжета. Благодаря этому учебный материал, представленный в комиксах, имеет, как правило, хорошую степень усвоения.

Поскольку комикс – это единство повествования и визуального действия, то он тесно связан с мультипликацией. В английском языке слово «cartoon» – «карикатура» – может обозначать и комикс, и мультфильм. В основе практически всех японских мультфильмов «аниме» лежит экranизация японских же комиксов «манга». Художники комиксов, в свою очередь, называют своё творчество «кино на бумаге». Ведь в комиксе используется множество приёмов и терминов «киношного» характера: раскадровка, сюжет, сценарий, кадр, композиция, ракурс и т.д. Рассматривая связь между комиксом и кино можно заметить, что в основе каждого из них заложен сюжет. Другими словами – комикс подобен раскадровке и потому является удобным для экranизации.

Передовой педагогический опыт показывает, что каждое занятие с использованием мультимедийных технологий вызывает эмоциональный подъем у учащихся. Такие уроки можно проводить, используя интерактивную доску или мультимедийный проектор для показа анимации. При этом учитель может, например, выключить звук и попросить учеников прокомментировать увиденное на экране, можно остановить кадр и попросить ученика, выполнив мысленный эксперимент, попробовать описать дальнейшее протекание процесса. Таким образом, можно выйти или на проблемную ситуацию, связав ее с темой урока, или закрепить изученное [2].

Для того чтобы создать комикс, необязательно быть профессиональным иллюстратором, для этого всего лишь нужно освоить программы для создания комиксов. Выбор таких программ достаточно велик (например, Creaza Cartoonist, Comic Life, Make Beliefs Comix, Createa Comic, Comics Maker), каждая из них имеет свои особенности и уже сам автор выбирает, какой ему удобно пользоваться. Цель таких программ (графических редакторов) – упрощение процесса создания комикса и формирования страниц. Все эти программы относятся к группе конструкторов, которые работают с готовыми изображениями и шаблонами. Основное требование к такому программному продукту – доступность и простота использования. Доступность определяется распространностью и стоимостью лицензии на данный продукт и это не менее важно, чем второе требование (простота использования), поскольку пользователь (педагог) должен быть избавлен от необходимости длительного освоения функционала программы. Возможности редакторов в основном включают в себя перемещение, поворот, размытие и отражение объектов. Однако создание авторского комикса в них вызывает проблемы, т. к. для создания героев и сцены необходим более широкий набор инструментов рисования. Поэтому для достижения нашей цели был выбран профессиональный графический редактор CorelDRAW Graphics Suite, в котором есть все необходимые инструменты для создания комиксов профессионального качества. Редактор CorelDRAW может работать с сотнями долями миллиметров, что позволяет в нем создавать чертежи, или просто векторные картины. Так же в нем хорошо продумана работа с текстом. Эта программа имеет удобный и интуитивно понятный интерфейс, поэтому для создания персонажей и фона удобно использовать именно ее. Возможности данной программы позволяют использовать ее для создания рисунков для комиксов, страниц, и для формирования книг. Некоторые средства CorelDRAW не имеют аналогов в других векторных редакторах и делают его уникальным продуктом [3]. Сейчас создать свою книгу комиксов сможет каждый, если воспользуется определенным софтом.

**Заключение.** Простота применяемых для создания комиксов и анимации средств гарантирует успех в подготовке комплекса наглядного материала для проведения внеклассных и факультативных занятий по физике. Доступность комикса и анимации в сочетании с высоким научным уровнем изложения гарантирует успех в изучении физики – одной из самых интересных дисциплин. При таком подходе физика перестанет быть для школьников сухой и отвлечённой наукой, так как позволит увидеть вокруг разнообразные физические явления, ранее не замеченные ими. Этот подход поможет им быть более наблюдательными и разовьет критическое мышление.

### **Список литературы**

1. Пустынникова И.Н., Юдина В.С. Активизация познавательной деятельности учащихся с помощью комиксов // Вестник Белгородского института развития образования (Вестник БелИРО). – 2017. – № 1(3). – С. 61-66.

2. Даниленко О. В. Повышение эффективности процесса усвоения учебного материала младшими школьниками в условиях компьютеризации обучения/ О. В. Даниленко. – М.: Дрофа, 2000. – 268 с.
3. Левковец Л.Б. Векторная графика. CorelDraw X6/ Л. Б. Левковец. – С-Пб.: НИУ ИТМО, 2013. – 357 с.

УДК 372.853

## ТРАДИЦИОННЫЙ И РАЗВИВАЮЩИЙ ПОДХОД К ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ

*Толкачёва А.С.,*

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

Ученики весь день работают. Дома есть более важные занятия, которым тоже нужно учиться. Развиваться нужно в разных сферах, какой смысл приходить домой и утыкаться в тетрадки?

Бренди Янг, американская поэтесса

«Домашка», выражаясь на школьном молодёжном сленге, – это предмет обсуждения педагогов и ненавистная обязанность каждого школьника, начиная с 1–2 класса. Очень часто подростки говорят: «Я бы с удовольствием ходил в школу, если бы не задавали домашнее задание...»

Для родителей выполнение или проверка домашнего задания, вообще, трагедия местного масштаба. В сети Интернет измученные родители делятся мнениями, просят совета и бесконечно шутят по этой теме. Педагоги, психологи и другие специалисты, в свою очередь, обсуждают вопросы более глобальные «Необходимо ли домашнее задание в современном образовательном процессе? Есть ли результат от его выполнения? Какое должно быть задание на дом?»

При ответе на эти вопросы, учителя разделяются во мнениях, ссылаясь на личный педагогический опыт, авторскую технологию обучения и показатели обучаемых. Следовательно, по-разному определяется место и цели данного вида работы. Выбор содержания, характера и формы деятельности, видов задания, временного интервала, степени самостоятельности домашней работы ученика зависит, прежде всего, от поставленных целей и задач.

«Домашнее задание – форма самостоятельной работы учащихся, организуемая учителем с целью закрепления и углубления знаний, полученных на уроке, для подготовки к восприятию нового материала» [1].

В традиционном обучении домашнее задание выполняет две задачи:  
– закрепление учебного материала, полученного в классе;

– дополнительное время для полноценного изучения всего курса.

То есть домашнее задание становится неотъемлемой частью образовательного процесса в общем случае, и урока, в частном.

Некоторые родители выступают против домашнего задания, обосновывая свою позицию по-разному:

1. Увеличивая нагрузку на детей, мы рискуем их здоровьем. Недосыпание, стрессы влияют на общее состояние здоровья ребенка.

2. Сейчас стало модным воспитывать всесторонне развитую личность, поэтому после школы ребята посещают секции, кружки, репетиторов. И где взять время на выполнение домашнего задания.

3. Совместное выполнение домашней работы с детьми часто вызывает негативную атмосферу в семье. И не всегда результат оправдывает средства.

Найти общий знаменатель между родителями, педагогами и детьми попытался Ш.А Амонашвили. Его «гуманная», «гуманистическая» педагогика [2] ставит вопрос о целесообразности «уроков после уроков», основываясь на мнении, что ребенка не нужно принуждать к учению, ребенок сам стремится к познанию. Сам Шалва Александрович не видит смысла ни в домашних заданиях, ни в принуждении к их выполнению и вся эта ситуация кажется ему антигуманной.

«Учитель обязан, сделав ребёнка добровольным и заинтересованным своим соратником, равноправным участником педагогического процесса, ответственным за его процесс и результаты, предоставить самому ребёнку право выбора занятия, которым он займётся дома... Ученики школы Амонашвили дома решают и составляют задачи, ... делают книжки, пишут учебники – выполняют нестандартные домашние задания» [2].

Нестандартные домашние задания – это понятие очень широкое. Оно включает целый ряд признаков, позволяющих ограничить задания этого типа от традиционных (стандартных). Развитие творческой самостоятельности в процессе выполнения нестандартного домашнего задания, ложится в основу метапредметности – овладения универсальными приемами учебной деятельности, которые позволяют ребенку быть успешным в любой предметной области. Благодаря чему формируются универсальные учебные действия (УУД).

«Универсальные учебные действия представляют собой совокупность различных способов действий учеников, обеспечивающих способность к самостоятельному усвоению новых знаний и умений» [3].

Нестандартные задания, как урочные, так и домашние, могут быть представлены в разнообразном виде [4].

Нетрадиционное домашнее задание, которое, казалось бы, стало решением проблемы недовольства родителей, подняло возмущение с новой силой. Творческое задание, изначально направленное на развитие творческой самостоятельности, может оказаться бессмысленно потраченным временем, так как ребенок не видит смысла в выполнении.

Например, ребенок не знает, где он будет применять полученные знания. Отрывая учебный процесс от реальной жизни, учитель провоцирует ребенка к потере интереса к изучаемому предмету.

Методика организации выполнения домашней работы – одно из слабых звеньев в деятельности школы. Часто задавание уроков на дом вообще не выделяется как самостоятельный этап урока. Между тем оно должно подготовить учащихся к самостоятельному и сознательному выполнению задания. До 80 % учителей дает домашнюю работу в конце урока, хотя возможны и другие варианты: в начале урока, в середине, в ходе урока. С.А. Пуйман формулирует основные правила задавания домашнего задания [5].

Подтверждением недоработки методики выполнения домашнего задания является новый протест против него – отсутствие оценивания данного вида работ. В структуре плана урока есть определенное место для проверки домашнего задания, но проверить всех в этот момент не представляется возможным. Обычно, учителя проверяют несколько человек для выяснения вопросов, с которыми дети самостоятельно не справились. А остальные сделавшие остаются не у дел. Проверка тетрадей для учителей-предметников предусмотрена раз в четверть с выставлением отметки за ведение тетради.

Анализируя вышеупомянутый текст, необходимо рассмотреть варианты взаимодействия с задающими домашнее задание и с выполняющими его, а именно провести педагогические исследования данного вопроса и на основании исследований разработать методические рекомендации для современного учащегося и его учителя.

Педагог, являющийся центром образовательного процесса, должен быть высококвалифицированным, творческим, инициативным, а также чувствовать показатель интеллекта конкретного класса и развивать творческую самостоятельность среди учащихся.

## Список литературы

1. [https://www.gumer.info/bibliotek\\_Buks/Pedagog/russpenc/18.php](https://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Pedagog/russpenc/18.php); Большая российская энциклопедия (1993–1999). Педагогика/ Москва. – 10.09.2019.
2. Амонашвили Ш.А.. Гуманная педагогика: актуальные вопросы воспитания и развития личности ребенка. Книга 1. М.: Амрита-Русь, 2010. – 288с.
3. <http://pedsovet.su/publ/115-1-0-5169>; Без автора. Универсальные учебные действия учеников. Виды УДД/ Pedsovet.su. – 15.08.2019.
4. <http://taitschool.uoura.ru>; Методкабинет. Цели домашнего задания в условиях внедрения новых образовательных стандартов. – 24.07.2019.
5. Пуйман С.А. Педагогика: основные положения курса: Справочное пособие. – Мн.: ТетраСистемс, 1999. – 128 с.
6. <https://lifehacker.ru/no-homework/>; Анастасия Пивоварова. 6 причин, почему домашнее задание бесполезно и даже вредно/Лайфхакер. – 10.09.2019.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЧЕБНОЙ АНИМАЦИИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ, КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ УЧАЩИХСЯ

*Чебанова В.А., Бондарь Е.Д.,  
Безус А.В., канд. физ.-мат. наук*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*Chebanowa2015@yandex.ru*

**Введение.** Обучение школьников требует особого подхода, эффективного и максимально креативного, так как основная задача учителя — привлечь внимание к своему предмету, мотивировать учащихся к изучению предмета.

Поэтому, используемые учителем приемы и методы должны предусматривать формирование у детей мотивов учения, среди которых следует выделить познавательные (учебные) мотивы. Они связаны с содержанием учебной деятельности и процессом ее выполнения. Эти мотивы свидетельствуют об ориентации школьников на овладение новыми знаниями, учебными навыками, определяются глубиной интереса к знаниям: новым занимательным фактам, явлениям. Формировать такой вид мотивов можно с помощью нетрадиционных средств обучения, таких как учебная анимация. Она особенно эффективна при создании материалов для школьных дисциплин естественнонаучного цикла: детям интересно видеть процессы в динамике.

**Цель:** показать, что использование учебной анимации на уроках физики способствует формированию познавательного мотива у учащихся.

В начале изучения курса физики учащимся этот предмет часто кажется сложным, а иногда и не интересным. В целях повышения мотивации учащихся была разработана анимация на тему «Тепловые явления» к уроку в 8 классе и план-конспект урока с использованием этого мультфильма [1]. Учебный фильм создавался по одноименному комиксу канд. пед. наук, доцента Пустынниковой И. Н. и магистра Ю. А. Семенюк «Кто, что сказал?»[2].

Анимация представляет собой интересную историю про трех друзей: котика Мурчика, собачку Гавчика и девочку Оксану. Главные персонажи мультфильма в обыденной жизни знакомятся с таким физическим явлением как теплопроводность. Пояснения бытовых и природных явлений, полученные в нестандартной форме, способствуют формированию познавательного мотива у учащихся.

Созданный мультфильм используется при изучение нового материала таким образом, чтобы привлечь детей к более глубокому его изучению [3]. При этом учитель не просто показывает анимацию, а может, например, выключить звук и попросить прокомментировать учеников увиденное на экране, можно остановить кадр и попросить ученика, выполнив мысленный эксперимент, попробовать описать дальнейшее

протекание процесса. Таким образом, использование анимации позволяет координировать учебный процесс. Урок с использованием мультфильма становится интересней, насыщеннее, он позволяет в полной мере сформировать все мотивы учения.

Для проведения педагогического эксперимента данная разработка была внедрена в учебный процесс МОУ «Школа №17 г. Донецка», в 8-а классе. При этом для изучения такой комплексной характеристики, как мотивация, и построения методики ее диагностики было проведено анкетирование учащихся. Результаты анкетирования обработаны в программе Excel по методу Михаила Романовича Гинзбурга. Анализ данных, полученных в результате проведения исследования, выявил качественные и количественные показатели мотивации учения.

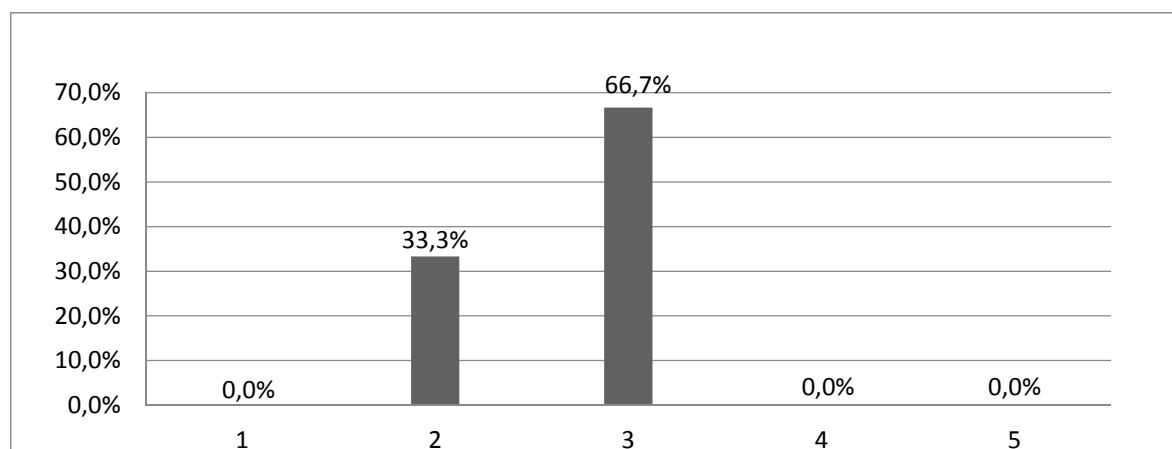


Рис. 1. Показатели уровня мотивации

На рис. 1 видно, что при применении предложенной разработки мотивация учащихся была на высоком и нормальном уровне. При этом сниженного и низкого уровня мотивации не наблюдалось ни у кого из учащихся. Это говорит о целесообразности использования учебной анимации на уроках физики.

Таблица 1

Преобладающие мотивы

№	Фамилия	П	С	И	№	Фамилия	П	С	И
1	Кирюшина	50%	100%		12	Сергеева	50%		50%
2	Подлесная			75%	13	Ярышкина			50%
3	Босенко			25%	14	Елисеев	50%		25%
4	Волкун			75%	15	Дворядкин			50%
5	Гомберг	50%	100%	25%	16	Медведева		100%	25%
6	Шоста			25%	17	Рудь	50%		50%
7	Алдошина	50%		50%	18	Постникова		100%	25%
8	Нужнива			75%	19	Титов			75%
9	Ержов		100%	50%	20	Жулот		100%	25%
10	Чубарь		100%	75%	21	Сахно	50%	100%	75%
11	Догадова			50%					

Анализ данных также показал, что у учащихся преобладают познавательный, игровой и социальный мотивы. В таблице 1 приведены их процентное содержание.

Познавательный мотив, отражает стремление школьников к самообразованию, направленность на самостоятельное совершенствование способов добывания знаний. В ходе исследуемого урока упор делался на формирование именно этого мотива. Предполагалось, что при применении анимации на уроках школьники от интереса к отдельным фактам перейдут к интересу к закономерностям и принципам.

Социальный мотив, связан с различными видами социального взаимодействия школьника с другими людьми. Например: стремление получать знания, чтобы быть полезным обществу, желание выполнить свой долг, понимание необходимости учиться, чувство ответственности. При этом велико значение мотивов осознания социальной необходимости, долга и ответственности, стремления хорошо подготовиться к выбору профессии.

Игровой мотив, указывает на то, что ребенку нравится только играть, гулять, общаться со сверстниками.

**Заключение.** Следует отметить, что анимация — это одно из самых эффективных средств, помогающих значительно разнообразить процесс обучения. Исходя из результатов педагогического эксперимента, можно сказать, что использование учебной анимации действительно способствует формированию познавательных (учебных) мотивов, повышает интерес к изучению предмета. Также использование анимации на уроке может привлечь детей к более глубокому изучению материала. И все это напрямую влияет на качество усвоения знаний учащихся.

### **Список литературы**

1. Бондарь Е. Д. Чебанова В. А. Создание короткометражного мультфильма к разделу «Молекулярная физика»: Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых. – Том 1: Физико-математические и технические науки / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: ДонНУ, 2017 – С. 220-221.
2. Пустынникова И. Н. «Кто, что сказал?»: сборник качественных задач по физике / И. Н. Пустынникова, Ю. О. Семенюк. – Донецк, ДонНУ, 2014. – 63 с.
3. Бондарь Е.Д. Чебанова В.А. Использование анимации при изучении темы «Виды теплопередачи. Теплопроводность» в 8 классе: Материалы IV Республиканской электронной научно-практической конференции. – Том 3: Качество естественно-математического образования: проблемы, реалии, перспективы / под ред. Ю. А. Романенко, Т. Б. Волобуевой и др. – Донецк: Истоки, 2018. – С.260-264.

# Компьютерные технологии

УДК 004.41

## ПРОТОТИП АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОНЛАЙН-СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ДЕНЕЖНЫХ ВЫПЛАТ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

**Бондаренко В.И.**, канд. техн. наук, **Бондаренко В.В.**  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*bondarenko@donnu.ru*

**Введение.** В наше время предприятия нуждаются в высокоуровневом взаимодействии со своими сотрудниками. Очень высока в современных условиях и значимость удобства работы. Веб-приложения способствуют быстрому получению информации в организованном виде [1].

**Цель** работы – разработать прототип веб-приложения, которое рассчитывает предварительный размер заработной платы и других выплат на производственном предприятии, исходя из должностного оклада и количества отработанных дней. За основу берется архитектура «клиент-сервер».

**Основная часть.** На рис.1 изображена функциональная схема проекта.

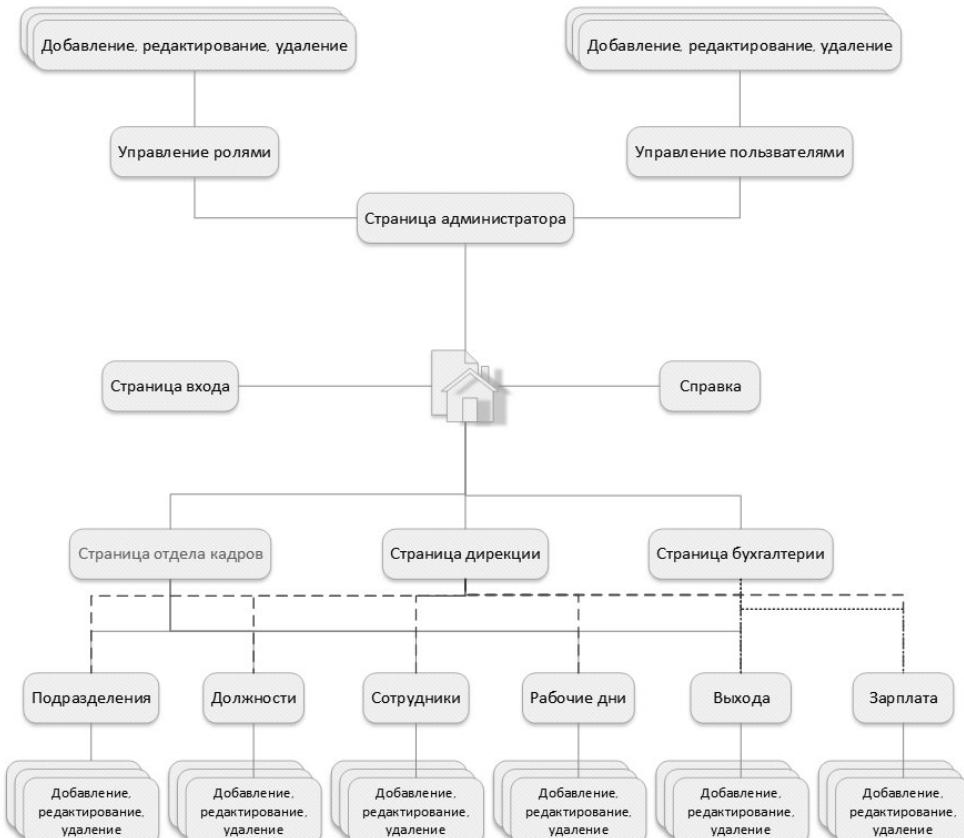


Рис. 1. Функциональная схема проекта

Предполагается, что приложение работает в корпоративной сети предприятия. Поэтому доступ к нему имеют только сотрудники этого предприятия. При входе на главную страницу веб-приложения пользователь должен получить доступ к основным функциям системы. При работе с сайтом у пользователя может быть одна из основных ролей входа: гость, зарегистрированный пользователь, администратор, дирекция, отдел кадров, бухгалтерия. В зависимости от роли пользователя может быть доступен различный набор функций. Для гостей доступен базовый функционал веб-приложения, а именно: переход к инструкции пользователя; справочная информация по количеству рабочих дней по месяцам; справочник сотрудников с занимаемыми должностями в подразделениях; справочник должностей; справочник подразделений. Самостоятельно регистрироваться в системе гостям не разрешается.

Для зарегистрированных пользователей ролей «Бухгалтерия» и «Дирекция» доступен раздел начисления зарплаты. Для пользователей ролей «Отдел кадров» и «Дирекция» предоставлен полный доступ к разделам рабочих дней, выходов, редактирования справочников сотрудников, должностей и подразделений.

Администраторам системы доступны страницы создания и редактирования учетных записей и ролей.

Так как веб-приложение должно использоваться с корпоративными целями, выполнять функции информационной системы предприятия с возможностями дальнейшего масштабирования, то необходимо ориентироваться на стек технологий, которые предоставляют надежную и высокопроизводительную базу данных, утилиты для ее администрирования, современный объектно-ориентированный типобезопасный язык программирования для быстрой веб-разработки.

Подходящим выбором представляется инструменты от корпорации Microsoft: набор серверов Internet Information Services, язык программирования c#, фреймворк ASP.NET MVC [2], среда программирования Visual Studio [3], система управления базами данных SQL Server [4], интегрированная среда управления SQL Server Management Studio (SSMS).

Основными компонентами системы являются база данных, сервер и клиентская часть. Серверная часть реализуется на основе шаблона MVC при помощи языка c# и фреймворка ASP.NET.

Общая последовательность работы MVC-приложения может быть описана следующим образом:

- 1) при заходе пользователя на веб-ресурс, скрипт инициализации создает экземпляр приложения и запускает его на выполнение;
- 2) при этом отображается вид главной страницы сайта;
- 3) приложение получает запрос от пользователя и определяет запрошенные контроллер и действие. В случае главной страницы, выполняется действие по умолчанию (index);

4) приложение создает экземпляр контроллера и запускает метод действия;

5) в данном контроллере содержаться вызовы модели, считывающие информацию из базы данных;

6) после этого, действие формирует представление с данными, полученными из модели, и выводит результат пользователю.

Схема работы приложения:

1) все данные хранятся в модели;

2) по запросу url к контроллеру данные из модели поступают в представление, дополнительные сведения можно также передавать через объекты ViewData и ViewBag;

3) переданные объекты в представлении разбираются средствами разметки Razor и данные отображаются пользователю;

4) представления, как правило, возвращаются из действий в виде объекта ViewResult, который является разновидностью объекта ActionResult.

**Заключение.** Разработан прототип автоматизированной онлайн-системы расчета денежных выплат на производственном предприятии, в котором реализованы следующие основные функции: регистрация пользователей в системе; авторизация зарегистрированных пользователей; создание и редактирование ролей пользователей; доступ к информации на разных уровнях в зависимости от назначенной пользователю роли; представление по умолчанию пяти ролей: гость, администратор системы, дирекция, бухгалтерия, отдел кадров; просмотр и изменение администратором пользовательской информации, изменение пароля; просмотр, добавление и редактирование справочников подразделений, должностей, справочника сотрудников с привязкой к подразделениям и должностям, справочника рабочих дней по месяцам; просмотр, добавление и редактирование информации о выходах сотрудников на работу; просмотр, начисление и редактирование заработной платы сотрудников; выгрузка информации в файлы excel.

В ходе дальнейшего развития проекта можно будет рекомендовать его для внедрения в корпоративных сетях производственных предприятий.

## Список литературы

1. Leff A. Web-application development using the model/view/controller design pattern / A. Leff, J.T. Rayfield // Proceedings fifth ieee international enterprise distributed object computing conference. – 2001. – С. 118-127.
2. ASP.NET MVC [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/aspnet/mvc/> (дата обращения: 15.01.2019).
3. Visual Studio IDE [Электронный ресурс]. – URL: <https://visualstudio.microsoft.com/> (дата обращения: 05.03.2019).
4. Документация по SQL Server [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/sql-server/sql-server-technical-documentation> (дата обращения: 02.04.2019).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО РЕЧИ

**Володин Н.А.**, канд. физ.-мат. наук, доцент

**Ермоленко Т.В.**, канд. техн. наук, **Семенюк В.В.**

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

*naturewild71@gmail.com, semenuk.viktoriya@gmail.com*

**Введение.** Эмоции и речь тесно взаимосвязаны и играют огромную роль в общении. В связи с этим, автоматическая и объективная диагностика эмоционального состояния человека по его речи представляет большой практический интерес. Возможность распознавания эмоций в речи важна как для исследования самой речи и эмоций, так и для улучшения качества обслуживания клиентов, например, в телекоммуникационной сфере. Идентификация эмоционального состояния крайне востребована в индустрии развлечений, обучении, медицине и других сферах.

**Цель работы** состоит в исследовании эффективности использования нейросетевого подхода и алгоритма вычисления значимых характеристик речевого сигнала методом звуковых отпечатков в задаче автоматического распознавания эмоций по голосу.

**Описание технологии распознавания эмоций по голосу и полученных результатов.** Работа типовой системы распознавания эмоций по речи может быть описана следующей последовательностью шагов [1]:

1. Получение на вход аналогового звукового сигнала.
2. Выполнение АЦП (аналогово-цифровое преобразование) входного сигнала для получения его спектральных составляющих.
3. Сглаживание спектра сигнала. Может быть реализовано различными оконными фильтрами. Наиболее часто используется оконная функция Хэмминга.

4. Разбиение спектра сигнала на фреймы длиной около 20 мс.
5. Вычисление значимых признаков фреймов.
6. Распознавание эмоций на основе значимых признаков фреймов.

Для оценки эмоционального состояния человека эмоции были разбиты на 3 общие группы: позитивные, негативные и нейтральные эмоции. Эти группы содержат следующие восемь классов эмоций: агрессия, отвращение, страх, счастье, нейтральное состояние, грусть, подавленность и удивление.

Для вычисления значимых признаков распознавания был использован метод звуковых отпечатков, который заключается в том, что обучающая выборка состоит из спектрограмм аудиозаписей для каждой эмоции [2].

Для распознавания как общих групп, так и восьми классов эмоционального состояния человека были созданы две нейронные сети. Используемый тип нейронных сетей – свёрточная [3]. Архитектуры обоих нейросетей идентичны за исключением количества выходных классов. На рисунке 1 изображена используемая архитектура сети.

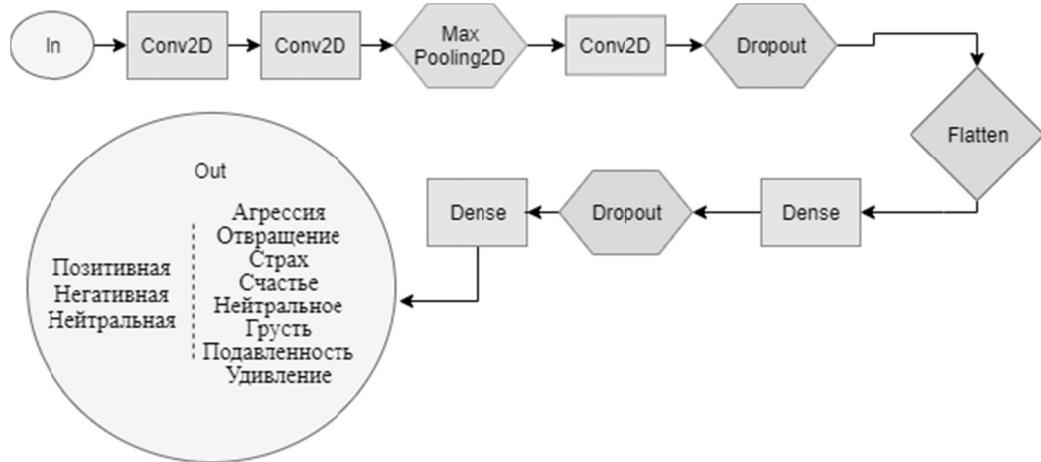


Рис. 1. Архитектура нейросети для распознавания эмоций человека по голосу

Для обучения нейросетей использовалась выборка, состоящая из 4500 аудиофайлов, каждый из которых содержал фрагмент эмоционально окрашенной слитной фразы, частота дискретизации 48kHz, уровень квантования – 16 бит, длина фрейма – 512 отчётов. Использовались записи двадцати четырёх профессиональных актёров (12 женщин и 12 мужчин). На рисунке 2 представлен пример изображения из обучающей выборки.

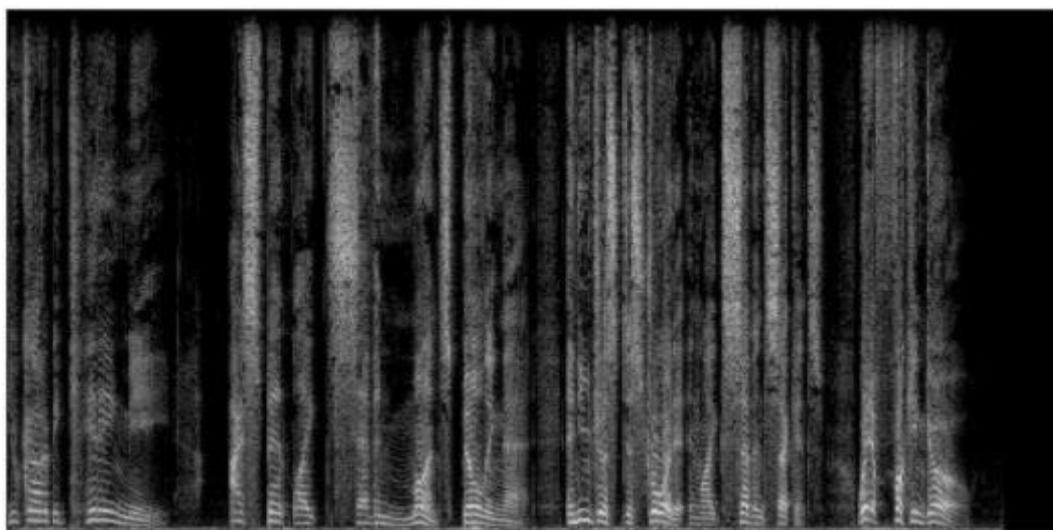


Рис. 2. Изображение из обучающей выборки

Объем тестовой выборки составил 200 записей по 25 записей на каждый класс эмоций. На рисунке 3 показаны результаты правильного распознавания (в процентах) для группы из трёх классов (слева) и для группы из восьми классов эмоций (справа).

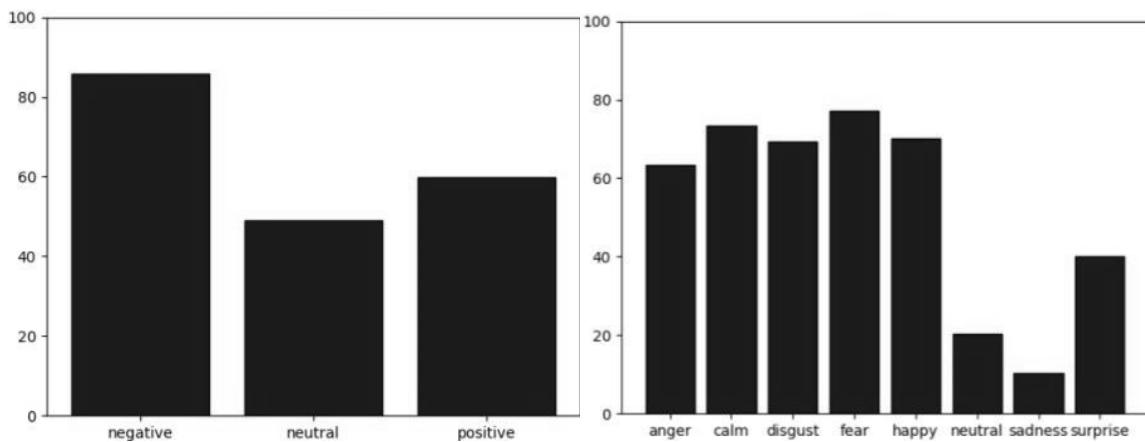


Рис. 3. Результаты правильного распознавания для 3 и 8 классов эмоций

Из полученных результатов видно, что наибольшую точность распознавания имеют негативные эмоции, наихудшие показатели – у нейтральных эмоций.

**Заключение.** Применение подхода к классификации эмоционального состояния человека по его голосу с использованием машинного обучения и метода звуковых отпечатков показало только для негативных эмоций (эффективность распознавания составила около 80%), для эмоций остальных групп результат оставляет желать лучшего. Предположительно, для улучшения точности распознавания можно применить дополнительные характеристики фреймов сигнала, полученные алгоритмом MFCC [4]. Алгоритм MFCC учитывает волновую природу звука и психофизическое восприятие звука человеком, устойчив к изменению тембра голоса, громкости и скорости произношения

### Список литературы

1. Брановицкий А.А. Распознавание эмоций по голосу на основе машинного обучения // Материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Компьютерные системы и сети» (Минск, 23-27 апреля 2018 г.). – Минск: БГУИР, 2018. – С 52.
2. Peter Grosche, Meinard Müller, and Joan Serrà, “Audio Content-based Music Retrieval,” Multimodal Music Processing, Meinard Müller, Masataka Goto, and Markus Schedl, Eds, vol. 3 of Dagstuhl Follow-Ups, chapter 9, pp. 157-174. Dagstuhl Publishing, Wadern, Germany, April 2012.
3. Dan C. Ciresan, Ueli Meier, Jonathan Masci, et al. Flexible, High Performance Convolutional Neural Networks for Image Classification. PROCEEDINGS OF THE TWENTY-SECOND INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 2011.
4. Оппенгейм А.В. Цифровая обработка сигналов / А.В. Оппенгейм, Р. Шафер. – М., Техносфера, 2012. – 1048 с.

**ПРОЕКТ ПОДСИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ И ВЫДАЧИ  
ДУБЛИКАТОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР СВЕДЕНИЙ О ДОКУМЕНТАХ  
ОБ ОБРАЗОВАНИИ»**

***Дорохина Г.В., Вовнянко А.С., Коваленко И.М., Гришаев К.А.***

ГУ «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк, ДНР

*sgv\_iai@mail.ru*

**Состояние вопроса и общая постановка проблемы**

Создание и ведение в государстве реестра сведений о документах об образовании стало общепринятой практикой. Например, в Российской Федерации такой реестр ведётся с 2013 года. В него вносят сведения от текущих выдаваемых документах, а также поэтапно – сведения о документах, выданных в предшествующие годы. Судя по шаблонам файлов, с помощью которых в реестр передаются данные о документах [1], в реестр вносятся только данные титулов документах. Данные об образовательной программе (наименования дисциплин, курсовых проектов, практик), их объёме (количество часов / кредитов) и результатах освоения обучающимся (оценка) в реестр не вносятся. В связи с текущим положением в ДНР возможны случаи физического уничтожения архива образовательной организации (в результате боевых действий, стихийных бедствий и др.). Поэтому для сохранения возможности подтверждения факта выдачи документа об образовании, выдачи дубликата утраченного документа, осуществления действий для признания документа об образовании в Российской Федерации разработанный в ДНР программный комплекс «Государственный реестр сведений о документах об образовании» содержит также средства для внесения данных об образовательной программе и результатах её освоения обучающимся.

Программный комплекс «Государственный реестр сведений о документах об образовании» до недавнего времени не содержал инструментальных средств для обработки данных о дубликатах и аннулировании документов об образовании. Без них не будет полностью охвачен процесс автоматизации обработки и хранений данных о документах об образовании (ДОбр), предусмотренный нормативной базой о порядке их выдачи и учёта. Работа направлена на создание средств учёта: поданных заявлений о выдаче дубликатов ДОбр и результатов их рассмотрения; сведений о выдаче дубликатов; сведений об аннулировании ДОбр.

Общая схема информационной технологии приведена на рис. 1.

**Форма «Заявление о выдаче дубликата».** В форме «Заявление о выдаче дубликата» фиксируются:

- 1) данные факте подачи заявления (наименование организации, в которую подано заявление, дата подачи заявления);
- 2) данные о документе об образовании (ФИО и дата рождения обладателя; наименование документа; наименование образовательного учреждения, выдавшего документ; направление подготовки; период обучения; реквизиты: серия, номер, даты выдачи и рег.№);
- 3) обстоятельства обращения, и документы их подтверждающие, данные о возвращённых документах и их скан-копии;
- 4) данные о заявителе, и документах, подтверждающих право подачи заявления.

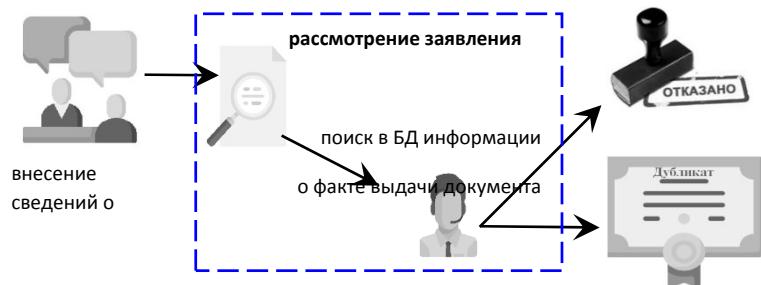


Рис. 1. Общая схема информационной технологии

В форме предусмотрена автоматическая подстановка и изменение перечня вводимых данных в зависимости от ранее введённых значений. Также осуществляется контроль заполнения всех необходимых полей и прикрепления скан-копий всех необходимых документов.

**Форма «Рассмотрение заявления».** Форма «Рассмотрение заявления» позволяет ознакомиться с внесёнными в заявление данными и скан-копиями прилагаемых к нему документов. Эти данные отражены в отдельных вкладках формы. Основная часть работы формы «Рассмотрение заявления» осуществляется с помощью вкладки «Анализ заявления».

Вкладка «Анализ заявления» позволяет найти в базе данных информацию о документе, дубликат которого необходим заявителю. Поиск осуществляется по полям: фамилия, имя, отчество и дата рождения обладателя, наименование документа об образовании.

Если в базе данных нет сведений об указанном документе, то подтвердить (с помощью автоматизированной системы) факт обучения не представляется возможным.

Если поисковый запрос даёт несколько результатов, то выбор документа, для которого необходим дубликат, осуществляется ответственный сотрудник (дубликат ранее аннулированного документа не может быть выбран). Далее программа сравнивает данные выбранного документа и данные заявления и отображает его результаты на экран. Несовпадение отдельных полей может рассматриваться как причина отказа о выдаче дубликата.

Ответственный сотрудник по каждому факту несовпадения может принять решение о том, что оно не является препятствием в выдаче дубликата. Для этого он должен сделать соответствующую отметку и пояснить свои действия в поле «Пояснение причины выдачи».

Если по результатам анализа остались причины, препятствующие выдаче дубликата, то в удовлетворении заявления будет отказано. В противном случае заявление будет «утверждено» к выдаче.

Данные о факте и причине отказа сотрудник вносит на форме «Отказ в выдаче дубликата».

Данные о распорядительном акте и реквизитах дубликата а также информацию об аннулировании исходного документа сотрудник вносит на форме «Удовлетворение заявления о выдаче дубликата».

#### **Список литературы**

1. Формирование и ведение Федерального реестра сведений о документах об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://obrnadzor.gov.ru/ru/activity/main\\_directions/reestr\\_of\\_education/](http://obrnadzor.gov.ru/ru/activity/main_directions/reestr_of_education/) (дата обращения 10.05.2019).

УДК 004.89

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ В ВУЗЕ**

***Ермоленко Т.В., Котенко В.Н., Бакулин А.А.***

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

*naturewild71@gmail.com*

**Введение.** Автоматическое формирование расписания учебных занятий для крупных вузов – задача актуальная и нерешенная. Качественно составленное расписание обеспечивает равномерную загрузку студенческих групп и профессорско-преподавательского состава, влияет на эффективность использования ресурсов аудиторного фонда и лабораторий. Для крупных образовательных учреждений характерно наличие: большого числа студенческих групп; дисциплин; типов аудиторных занятий; контингента преподавателей, аудиторного фонда, включающего различные по назначению аудитории и т.д. Все это приводит росту числа ограничений.

Задачи теории расписаний относятся к классу многокритериальных NP-полных задач, решение которых точными математическими способами не представляется возможным, возникает необходимость в методах, характеризующихся сочетанием полиноминальной зависимости времени счета от размерности задачи и точностью близкой к оптимальной. К такому классу методов относятся генетические алгоритмы (ГА) [1].

**Цель** работы – рассмотреть возможность применения генетического алгоритма в решении задачи оптимизации учебного расписания.

**Математическая постановка задачи.** Введем несколько множеств. Пусть  $p$  – преподаватель и  $P$  – множество всех преподавателей,  $g$  – учебная группа и  $G$  – множество всех групп,  $d$  – дисциплина и  $D$  – множество всех дисциплин. Для проведения лабораторных занятий студенты каждой группы делятся на подгруппы  $pg$ . Обозначим множество  $PG$ , состоящее из всех подгрупп  $pg \in PG$ . Лекционные занятия проводятся в потоках. Введем множество потоков  $R$ , состоящее из всех потоков расписания. Введем множество таймслотов  $T = \{t^j\}_{j=1}^{60}$ , где  $t^j$  представляет собой кортеж  $t^j = \langle t_q^j, t_\delta^j, t_n^j \rangle$  ( $t_q^j \in T_q = \{0, 1\}$  указывает на четность недели,  $t_\delta^j \in T_\delta$  – номер дня недели от 1 до 5,  $t_n^j \in T_n$  – номер пары от 1 до 6).

Аудиторный фонд будем описывать множеством  $A = \{a^i\}_{i=1}^{N_A}$ , где  $N_A$  – количество всех аудиторий,  $a^i = \langle a_1^i, a_2^i \rangle$ ,  $a_1^i$  – номер корпуса,  $a_2^i$  – номер аудитории.

Для описания занятия будем использовать структуру  $les$ , в которую входят следующие элементы:  $p$  – преподаватель,  $p \in P$ ;  $d$  – дисциплина,  $d \in D$ ;  $g$  – группа/подгруппа/поток,  $g \in G \cup PG \cup R$ ;  $a_{les}$  – множество аудиторий, в которых может проводиться занятие,  $a_{les} \subset A$ ;  $Num$  – количество занятий в неделю. Множество таких структур обозначим  $Les$ .

Тогда расписание учебных занятий можно полностью определить двумя векторами  $\alpha$  и  $l$ :

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{60}), l = (l_1, l_2, \dots, l_{60}), \alpha_i \in A, l_i \in Les.$$

Для описания критериев оптимальности введем функцию  $S$ :

$$S(p, g, a, t, les) = \begin{cases} 1, & \text{если преподаватель } p \text{ ведет занятие } les \text{ с группой } g \text{ в аудитории } a \text{ во время } t \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

Для каждой группы должны выполняться все виды аудиторной работы в течение недели, предусмотренные учебным планом:

$$\forall g \quad \sum_{p \in P, t \in T, a \in A, les \in Les} S(p, g, a, t, les) = Num_g,$$

где  $Num_g$  – количество занятий в неделю для группы  $g$ .

С помощью введенной функции  $S$  опишем четыре критерия оптимальности следующим образом.

1. Для каждой группы в определенное время не более одного занятия (критерий  $K_1$ ):

$$\forall g, \forall t \quad \sum_{p \in P, a \in A, les \in Les} S(p, g, a, t, les) \leq 1.$$

2. Для каждого преподавателя в определенное время не более одного занятия (критерий  $K_2$ ):

$$\forall t, \forall p \sum_{a \in A, les \in Less} S(p, g, a, t, les) \leq 1.$$

3. В каждой аудитории в определенное время не более одного занятия (критерий  $K_3$ ):

$$\forall t, \forall a \sum_{p \in P, les \in Less} S(p, g, a, t, les) \leq 1.$$

4. Строим критерий на проверку на наличие «окон» у группы  $g$  в день  $t_d$  (критерий  $K_4$ ):

а) вычислим  $N_1$  – номер первого занятия в день  $t_d$  для группы  $g$

$$N_1 = \min\{t_n : S(p, g, a, t, les) = 1\};$$

б) вычислим  $N_2$  – номер последнего занятия в день  $t_d$  для группы  $g$

$$N_2 = \max\{t_n : S(p, g, a, t, les) = 1\};$$

в) количество занятий  $Num$  в день  $t_d$  определяется суммой

$$Num = \sum_{t_n} S(p, g, a, t, les);$$

г) искомый критерий  $N_2 - N_1 - Num = 0$ .

5. Занятие  $less$  должно проводится только в аудиториях допустимого типа, соответствующего этому занятию (критерий  $K_5$ ):

$$\forall less, \forall p, \forall g, \forall t \sum_{a \notin a_{les}} S(p, g, a, t, les) = 0.$$

Дополнительные критерии, обеспечивающие:

1) минимизацию количества занятий для номера пары  $t_n$  (критерий  $K_6$ ):  $\sum_{less \in Less, g \in G \cup PG \cup R} S(p, g, a, t, les) \rightarrow \min;$

2) равномерность распределения занятий учебных групп по количеству пар в день (критерий  $K_7$ ):  $\sum_{t_n} S(p, g, a, t, les) \rightarrow \min;$

3) равномерность занятий учебных групп для различных недель (критерий  $K_8$ ):  $\sum_{t_u=0} S(p, g, a, t, les) - \sum_{t_u=1} S(p, g, a, t, les) \rightarrow \min.$

Требуется найти вариант расписания, обеспечивающий минимальное значение аддитивного критерия  $Loss(\alpha, l)$  потерь расписания:

$$Loss(\alpha, l) = \sum_{i=1}^8 c_i(\alpha, l) w_i K_i \rightarrow \min,$$

где  $c_i(\alpha, l)$  – оценка, определяющая степень невыполнения критерия  $K_i$  для расписания, описанного векторами  $\alpha$  и  $l$ ,  $w_i$  – вес критерия  $K_i$ .

Для решения поставленной задачи представляется перспективным использовать агрегативный ГА [2], особенностью которого является использование двух взаимосвязанных хромосом, а фитнес-функцией – функция  $Loss(\alpha, l)$ . Гены первой хромосомы – идентификаторы аудиторий (целые числа от 1 до  $|A|$ ), гены второй хромосомы – идентификаторы занятий (целые числа от 1 до  $|Less|$ ).

**Заключение.** Предложенная постановка задачи автоматического составления расписания позволяет использовать ГА за счет компактного представления расписания в виде двух хромосом, содержащих информацию об аудиториях и проводимых в них занятиях. Хотя ГА не гарантируют сходимости в глобальный экстремум, они хорошо защищены от попадания в локальные экстремумы, следовательно, хорошо проявляют себя в многоэкстремальных задачах, к которым относится задача автоматического составления расписания в крупных ВУЗах.

### **Список литературы**

1. Конькова И.С. Генетические алгоритмы в решении задачи составления расписания занятий в вузе // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей XII Междунар. Научно-техн. Конф. – Пенза: ПДЗ, 2012. – С. 26-29.
2. Астахова И.В. Составление расписания учебных занятий на основе генетического алгоритма / И.Ф. Астахова, А.М. Фирас // Вестник Воронежского государственного технического университета, серия: Системный анализ и информационные технологии, 2013. – Т№ 2. – С. 93–99.

УДК 004.932

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ЕДИНИЧНОГО РУКОПИСНОГО СИМВОЛА**

*Ермоленко Т.В.*, канд. техн. наук, *Куделя О.Г.*

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

*naturewild71@gmail.com, kseniya\_kudelya@mail.ru*

**Введение.** Распознавание рукописного текста является обязательной частью работы с документами, написанными от руки, например, заявлениями или похожими документами, а также с заметками на мобильном устройстве.

Необходимость взаимодействия с рукописным текстом – часть документооборота и создания записей. От перевода бумажных записей в цифровой документ или создание заметок.

Существует 2 типа распознавания рукописного текста:

1. Распознавание текста, который уже написан. Хранение информации в виде записей – самый распространённый и старый способ хранения информации. Благодаря распознаванию рукописного текста данные записи можно перевести в цифровой документ. Подход является сложным в реализации, так как имеет большую погрешность, но при использовании словарей можно улучшить результаты.

2. Распознавание текста в режиме реального времени. Данный метод применяется для перевода рукописного текста с сенсорного экрана мобильного устройства в печатный текст. Данный метод даёт намного лучший результат, в отличии от текста, который написан, так как анализирует особенности почерка и написание букв.

Оба метода объединяют необходимость сегментации для получения результатов, а затем выполняется классификация символов.

**Цель работы** – исследовать возможность использования сверточных нейросетей для распознавания единичных рукописных символов.

**Описание архитектуры нейросети и численных исследований.**

Работа выполнялась с использованием языка python 3.6, открытой нейросетевой библиотеки Keras, открытой программной библиотеки для машинного обучения Tensorflow, разработанной компанией Google [1-2].

Для распознавания одиночных рукописных символов была использована сверточная нейросеть [4], архитектура которой изображена на рисунке 1.

На вход нейросети подавались чёрно-белые изображения рукописных цифр и букв (только заглавные).

Обучающая выборка 69000 для цифр и 88000 для букв суммарно для каждого класса.

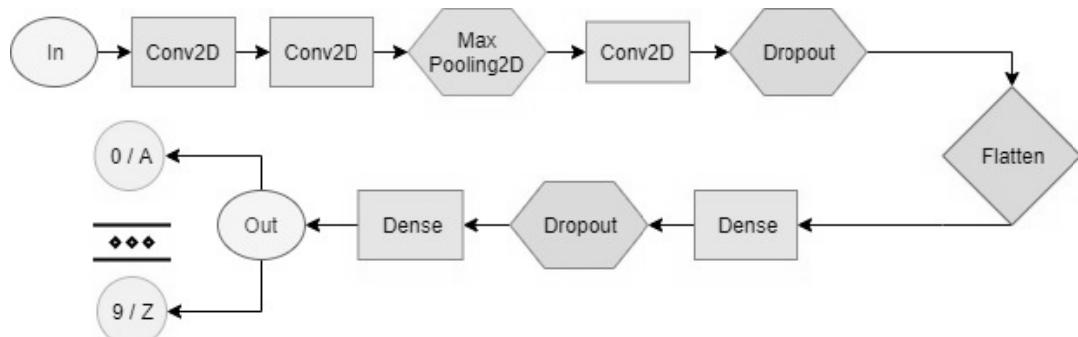


Рис. 1. Архитектура сверточной нейронной сети, используемой для распознавания рукописных символов

На рисунке 2 показаны результаты распознавания арабских цифр (график слева) и символов латинского алфавита (график справа). По оси X находятся классы распознаваемых символов, а по оси Y – результаты правильного распознавания (в процентах). Тестовая выборка содержала по 25 образцов для каждого класса символа.

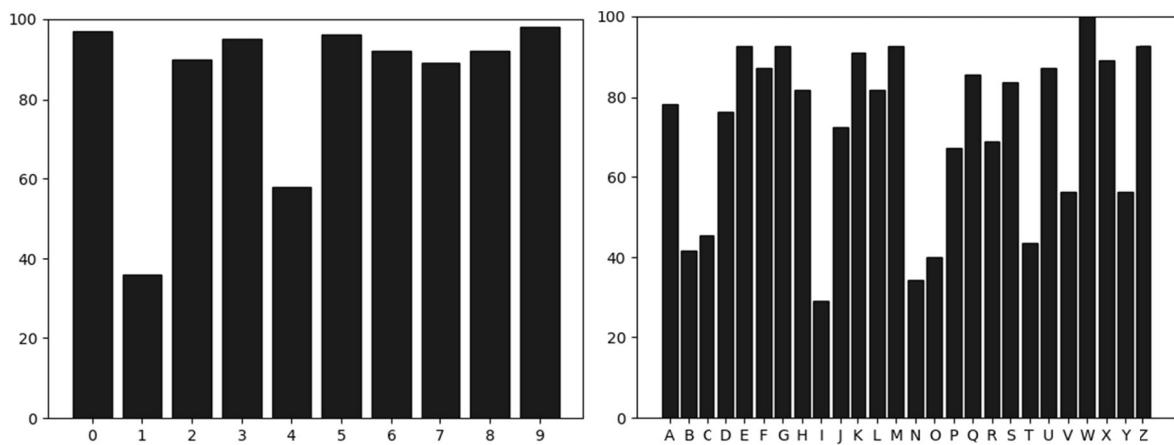


Рис. 2. Результаты распознавания арабских цифр

Для оценки точности и взаимодействия с моделями нейронной сети было создано простое графическое приложение с возможностью выбора модели и областью рисования.

На рис. 3 и рис. 4 продемонстрированы результаты работы графического приложения в режиме распознавания цифр «1», «2» и «3» (рис. 3), а также символов латинского алфавита «A», «B» и «C» (рис. 4).

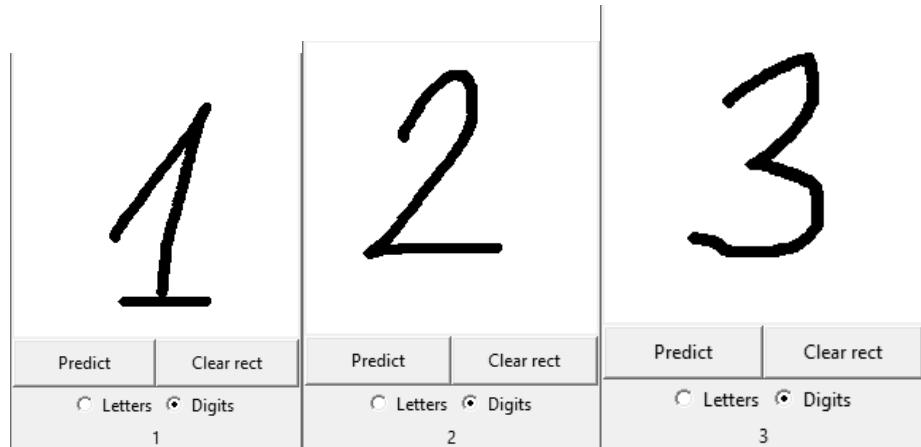


Рис. 3. Результаты работы приложения для распознавания цифр

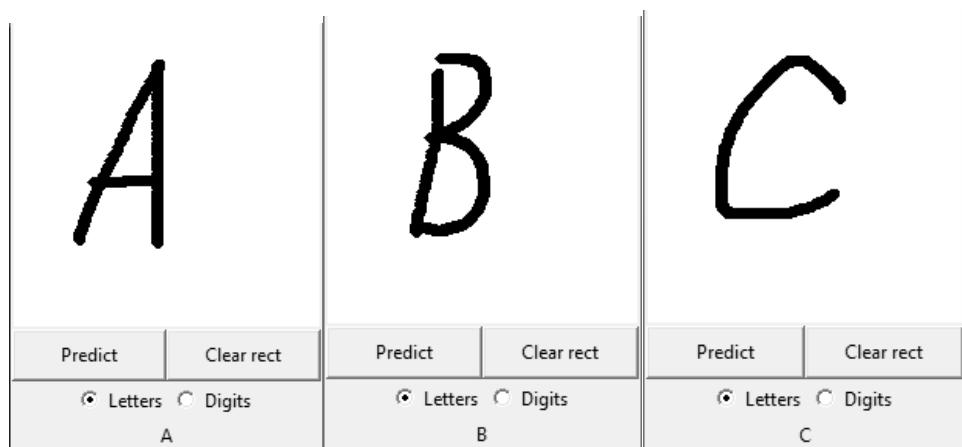


Рис. 4. Результаты работы приложения для распознавания букв

**Заключение.** Как показали результаты, использование нейросети описанной архитектуры эффективно для распознавания цифр (более 80%), кроме «1» и «4». Результаты классификации символов латинского алфавита оставляют желать лучшего – более 80% правильного распознавания наблюдается только для половины символов. Предполагается, что использование предиктивной (предугадывающей) системы набора текстов (T9, GBoard и т.п.) или аналогичных систем позволит повысить эффективность распознавания.

### Список литературы

1. Жерон Орельен. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow / Жерон Орельен. – Изд-во: Вильямс, 2018. – 688 с.

2. Мюллер А. Введение в машинное обучение с помощью Python / А. Мюллер, С. Гвидо. – Изд-во: Вильямс, 2017. – 480 с.
3. Шолле Ф.Глубокое обучение на Python / Ф. Шолле. – Изд-во: Питер, 2018. – 400 с.
4. Николенко С.И. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / С.И. Николенко, А.А. Кадурин, Е.В. Архангельская. – Изд-во: Питер, 2018. – 480 с.

УДК 004.5:331.582:378.4378

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

***Котенко В.Н.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kotenko1967@gmail.com*

**Введение.** Сегодня задача трудоустройства выпускников высших учебных заведений является серьезной проблемой. Работодатели в большинстве случаев при приеме на работу кандидата требуют наличия трудового стажа. С другой стороны, сами они имеют серьезные проблемы с поиском высококвалифицированных ИТ-специалистов.

Существует множество информационных систем по трудоустройству с обширными функциональными возможностями: superjob.ru, zarplata.ru, работаднр.рф, russrabota.ru, trudbox.com. К сожалению, все они имеют громоздкий функционал и содержат огромные объемы информации, что затрудняет поисковые возможности и не позволяет провести анализ информации по какому-то сегменту рынка труда.

В исследовании компании Gartner в октябре 2018 года отмечается рост объема мирового ИТ-рынка: 2017 год – 3,53 трлн долл., 2018-й – 3,69 трлн долл., прогноз на 2019 год – 3,81 трлн долл. Объем ИТ-рынка России составил в 2017 году – 21,8 млрд долл., в 2018-м – 22,6 млрд долл., прогноз на 2019 год – продолжение роста.

Как видно из оценки рынка информационных технологий ИТ-специалисты, которыми являются выпускники кафедры компьютерных технологий, владеющие всеми необходимыми компетенциями для работы в ИТ-индустрии, являются востребованным контингентом на рынке труда.

Кафедра компьютерных технологий ГОУ ВПО «ДонНУ» многие годы является кузницей компетентных специалистов в областях программирования, системного программирования, web-программирования, системного администрирования, администрирования баз данных, web-администрирования, разработки баз данных, системного анализа, разработки мобильных приложений, html-верстки, web-дизайна.

Использование инновационных информационных технологий позволит ответственному по кафедре за трудоустройство выпускников и заведующему кафедрой эффективно вести учет трудоустройства, анализировать трудоустройство по ИТ-специальностям, отслеживать критерии заинтересованности работодателей, а работодателям – эффективно осуществлять подбор квалифицированного ИТ-персонала.

**Актуальность** автоматизации определяется следующими факторами. Во-первых, у ответственного по кафедре за трудоустройство отпадает необходимость в хранении огромного объема бумажной документации. Во-вторых, на несколько порядков повышается скорость обработки информации. В-третьих, появляется возможность удаленной обработки информации как администратором системы, так и соискателями и работодателями. В-четвертых, у работодателей появляется возможность точечного подбора квалифицированных ИТ-специалистов на свои вакансии. И наконец, в-пятых, у заведующего кафедрой и ответственного по кафедре за трудоустройство появляется возможность постоянного мониторинга процесса трудоустройства выпускников, что повышает эффективность и качество обеспечения работой специалистов, подготовленных кафедрой.

**Целью** настоящего исследования является автоматизация процесса поиска работы выпускниками и поиска квалифицированных ИТ-специалистов работодателями. Для достижения цели проведен ряд исследований по изучению процедуры формирования резюме выпускниками кафедры, информации о вакансиях менеджерами по работе с персоналом работодателей, выявлены негативные факторы, приводящие к погрешностям и проблемам в размещении и поиске информации.

**Результат.** Экспериментальные исследования предложенного алгоритма, реализуемого посредством автоматизации процесса поиска работы выпускниками и поиска квалифицированных ИТ-специалистов менеджерами по работе с персоналом работодателей, свидетельствуют о том, что эффективность и качество мониторинга процесса трудоустройства выпускников возрастает на несколько порядков.

Страница со списком найденных вакансий, предлагаемых предприятиями и учреждениями, показана на рис. 1.

Название предприятия	Требуется на должность	Подробнее
ТП "КОМПЛЕЛ"	Системный администратор	Просмотр
Сеть супермаркетов "Авоська"	Системный администратор	Просмотр
Tile.Expert	Программист	Просмотр
ООО "ДонФрост"	Администратор баз данных	Просмотр
ООО Славолия Групп	Web-дизайнер	Просмотр
Студия "ФростWeb"	Web-дизайнер	Просмотр

Рис.1. Вакансии работодателей для выпускников кафедры компьютерных технологий

Система хранит самую исчерпывающую информацию о выпускнике кафедры: код резюме, фамилия, имя, отчество, возраст, образование, диплом, специальность, вторая специальность, профессия, языки программирования и иностранные языки, которыми владеет выпускник, стаж работы, график работы, желаемый оклад, контактный телефон, Email, адрес сайта в интернет-сети, домашний адрес, пол, количество детей, дата размещения резюме, дополнительная информация и секретный код доступа к информации резюме, а также полную информацию о вакансии работодателя: код вакансии, название предприятия, вакантная должность, пол, возраст, образование, стаж, график работы, предлагаемый оклад, контактный телефон, Email, адрес сайта, адрес предприятия, дата размещения вакансии, дополнительная информация и секретный код.

Отличительной чертой системы является предоставление выпускнику возможности указания языков программирования и иностранных языков, которыми он в совершенстве владеет, что дает возможность работодателям сузить критерии поиска требуемых для работы ИТ-специалистов.

Администраторская часть системы позволяет создавать и удалять таблицы резюме, вакансий, языков программирования и иностранных языков, которыми владеют выпускники кафедры, таблицы связей резюме с иностранными языками и языками программирования, удалять из таблиц утратившие актуальность данные, осуществлять операции с информацией таблиц иностранных языков и языков программирования.

Пользовательская часть информационной системы дает возможность создания новых резюме выпускниками кафедры и новых вакансий работодателями, корректировки данных, просмотра списков имеющихся в наличии резюме и вакансий, осуществления поиска резюме соискателей и вакансий работодателей по заданным критериям. Информация каждого резюме и каждой вакансии защищена владельцем секретным кодом.

Поисковая часть системы позволяет осуществлять поиск вакансий выпускниками кафедры компьютерных технологий и резюме выпускников кафедры работодателями, подсчитывать количество трудоустройств выпускников в указанном учебном году, определять наиболее востребованные в текущий период времени специальности.

Доступ к страницам информационной системы закрыт для сторонних пользователей с использованием md5-хеширования.

Информационная система позволяет осуществлять доступ администратору сайта, соискателям и работодателям из любой точки мира при наличии интернет-подключения и любого браузера.

Разработанная система была протестирована на данных выпускников кафедры, где показала полное соответствие поставленным требованиям, эффективную обработку и отображение данных.

**В заключении** стоит отметить, что предложенный метод на основе применения современных информационных технологий позволяет

повысить эффективность мониторинга процесса трудоустройства выпускников кафедры компьютерных технологий заведующим кафедрой и ответственным по кафедре за трудоустройство выпускников.

УДК 004.9:331.105.44:378.4

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ ПРОФБЮРО ФАКУЛЬТЕТА**

***Котенко В.Н.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kotenko1967@gmail.com*

**Введение.** Информационная функциональная деятельность профбюро:

1) по запросам вышестоящих органов и членов профсоюза факультета председатель профбюро составляет отчетные документы, включающие в себя информацию о работе профсоюзного бюро;

2) информация о событиях в стране, вузе, на факультете, проблемах членов профсоюзной организации поступает в профсоюзные бюро из профкома вуза и от сотрудников. Данную информацию председатель профсоюза записывает в справочники для анализа и реагирования;

3) одной из основных основополагающих задач профбюро является постоянный мониторинг юбилеев и дней рождений членов профсоюза с целью осуществления поздравлений и премирования членов профсоюза, что является весьма временно-затратной задачей;

4) председатель профбюро факультета должен вести протоколы отчетных собраний, заседаний профбюро, вести учет графиков собраний в профгруппах, а для этого иметь информацию от профгруппоргов о датах проведения собраний и протоколах их проведения.

Исследование положения дел с программными продуктами для автоматизации работы профбюро факультета показывает, что:

1) основная часть автоматизированных систем отражает информацию профкомов высших учебных заведений, а не профбюро факультетов высшего учебного заведения;

2) в большинстве своем на информационных ресурсах представлена статическая справочная информация, к тому же, в ограниченном количестве: коллективный договор, права профсоюзной организации и т.п.

3) львиная доля информационных ресурсов оформлена просто как страничка в социальной сети «ВКонтакте» (большинство страничек принадлежат не преподавательским, а студенческим профбюро).

Таким образом, можно констатировать, что рынок не предлагает на данный момент бесплатного и простого в использовании программного обеспечения с открытым исходным кодом для профбюро факультета.

Использование инновационных информационных технологий позволяет председателю профбюро факультета, членам профбюро и профгруппам кафедр эффективно вести учет информации, осуществлять мониторинг профсоюзной жизни факультета.

**Актуальность** автоматизации определяется следующими фактами. Во-первых, объем циркулирующей в профбюро информации каждый год возрастает, и ее ручная обработка становится все более проблематичной. Во-вторых, задержки при доступе к оперативной информации влекут за собой сбои в работе профсоюзной организации факультета. В-третьих, использование процесса автоматизации работы профбюро позволяет ликвидировать просчеты и ошибки при обработке информации. В-четвертых, на порядок повышается эффективность работы председателя профбюро факультета высшего учебного заведения. И, наконец, в-пятых, у профбюро появляется возможность постоянного мониторинга профсоюзной деятельности факультета.

**Целью** настоящего исследования является определение функций профбюро факультета, которые нуждаются в процессе автоматизации, проектировании базы данных профбюро и создании информационной системы для председателя, членов профбюро и профгруппоргов кафедр.

**Результат.** Экспериментальные исследования предложенного алгоритма, реализуемого посредством автоматизации процесса учета и анализа информации профбюро факультета, свидетельствуют о том, что эффективность и качество мониторинга деятельности профсоюзной организации факультета вуза возрастает на несколько порядков.

Функциональная схема работы системы приведена на рис.1.



Рис.1. Функциональная схема работы информационной системы профбюро факультета высшего учебного заведения

База данных разработанной системы хранит следующую информацию: список членов профсоюзной организации, содержащий личные данные о сотрудниках факультета, список номеров профсоюзных билетов сотрудников, информацию о детях сотрудников факультета, список профгруппоргов, список членов профсоюзного бюро факультета, список состава комиссии профбюро, график проведения собраний в профгруппах, информацию о паролях членов профбюро, объявления профсоюзного бюро факультета.

Реализована защита данных от несанкционированного доступа и разграничение доступа к данным для председателя профбюро и членов профбюро и профгруппоргов.

Функционал системы позволяет председателю профбюро публиковать актуальные объявления, отображать на главной странице информацию о сотрудниках, у которых сегодня день рождения, и у которых он будет в ближайшие дни, осуществлять операции по вводу и редактированию информации, получению списков по многообразным критериям, например, получение списка дней рождений членов профсоюзной организации, сортировки его по месяцам и юбилеям сотрудников факультета, получение списка членов профсоюза одной из кафедр факультета, списка детей сотрудников и т.п., т.е. позволяет проводить анализ информации по запрашиваемым параметрам.

Помимо просмотра и редактирования информационного наполнения автоматизированная система позволяет выводить результаты выполнения запросов в виде отчетов, сводных таблиц, формировать документы формата Microsoft Excel для последующего вывода на печать.

Отличительной чертой автоматизированной системы является возможность для председателя профбюро факультета, членов профбюро и профгруппоргов получить доступ к информации из любой точки земного шара при наличии интернет-подключения и интернет-браузера.

Разработанная система была протестирована на данных членов профсоюзной организации физико-технического факультета ГОУ ВПО «Донецкий Национальный университет», где показала полное соответствие поставленным требованиям, эффективную обработку и мониторинг информации.

**В заключении** стоит отметить, что автоматизированная система используется в настоящее время председателем профбюро, профгруппоргами и членами профбюро физико-технического факультета для уменьшения временных затрат на ведение учетной информации о членах профсоюзной организации факультета, составления отчетов и мониторинга деятельности профсоюзной жизни факультета. Функциональная организация системы позволяет использовать ее не только в профбюро физико-технического факультета ГОУ ВПО «ДонНУ», а и в профбюро факультета любого высшего учебного заведения.

## АНАЛИЗАТОР КАЛОРИЙНОСТИ ПРОДУКТОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОДБОРА РАЦИОНА ПИТАНИЯ

*Котенко Ю.В., Митяева В.В.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*melin1989@mail.ru*

**Введение.** На сегодняшний день существует огромное количество сайтов и программ, которые позволяют пользователю следить за калорийностью продуктов для составления рациона своего питания. Однако большинство из доступных пользователю приложений имеют ряд недочётов. К значительным недостаткам относятся: ограниченное количество возможностей в бесплатных версиях данных программ, а также часто отсутствие возможности для пользователя добавлять свои продукты и блюда для формирования меню на день, неделю или месяц.

В данной работе реализовано приложение, которое позволит сделать процесс анализа калорийности продуктов, блюд и рациона питания в целом более удобным, а простой и понятный графический интерфейс сделает этот процесс легким и приятным для любого пользователя.

**Актуальность.** Проблема избыточного веса и контроля за массой тела достаточно остро стоит для многих современных людей. Реально существует лишь один действенный способ похудения – «энергетический». Чтобы «энергетические депо» в виде жировых запасов распадались, расход энергии организмом должен превышать её поступление. Именно эту принципиальную связь и помогает чётко отслеживать дневник питания. Как известно, энергия измеряется в килокалориях, или проще говоря, калориях. А значит, основная задача худеющего – уменьшить количество калорий, поступающих с пищей. Поэтому на старте снижения веса специалисты устанавливают «порог калорийности», переступать через который не следует вплоть до полной победы над лишними килограммами. Как правило, этот предел составляет от 1000 до 1500 ккал. Определить, сколько калорий мы «наедаем» в течение дня (а порой и ночи), можно только посредством дневника питания, куда неукоснительно заносится всё, что выпито и съедено, включая вес продуктов и – главное – их калорийность. Для того, чтобы быстро, удобно и правильно составить свой сбалансированный рацион питания, узнать калорийность употребляемых в пищу продуктов, составить свое оптимальное меню на день, а также сократить временные затраты пользователя на поиск нужной информации и ее систематизирование было решено разработать приложение-анализатор калорийности продуктов с возможностью подбора рациона питания.

**Целью** настоящего исследования выступает разработка приложения для анализа калорийности продуктов, с целью составления диеты или

формирования сбалансированного рациона питания для пользователя, которое позволит: добавлять продукты и напитки, составлять блюда, с указанием веса каждого продукта и подсчета общей калорийности для составления ежедневного меню.

**Результатом** является приложение “Calorio” для анализа калорийности продуктов питания. Главной операцией приложения является вычисление калорийности составленных блюд и составление рациона питания, с подсчетом количества калорий за каждый прием пищи.

Функционал указанного приложения предоставляет возможности по:

1. составлению блюд, которые привык употреблять в пищу или хочет ввести в свой рацион пользователь, с добавлением в них требуемых продуктов питания (рис. 1), а также указанием веса продуктов, для дальнейшего вычисления калорийности блюд;

2. вычислению количества калорий, белков, жиров и углеводов в блюдах, а также в рационе питания в целом;

3. добавлению информации о продуктах питания и напитках, с указанием калорийности, количества жиров, белков и углеводов на 100 грамм или миллилитров;

4. составлению рациона питания на день, с сохранением в файл, и просмотром рациона по датам;

5. отслеживанию по календарю и распечатке информации о своем рационе питания и об употребляемых блюдах;

6. ознакомлению с уровнями активности человека для выбора оптимального режима своего питания.

Салат греческий						
Состав:		Добавить				
Название	Вес	Кол-во калорий	Белки	Жиры	Углеводы	
Помидор	20	28	5	2,54	24,6	×
Огурец	18	25	4,5	2,286	22,14	×
Сыр "Фета"	20	50	30,6	3,172	8,2	×
Оливки	15	20	1,2	0,45	1,8	×

Сохранить Удалить Отмена

Рис. 1. Результат добавления продуктов для блюда в приложении “Calorio”

Кроме того, данное приложение позволяет рассчитать пользователю его идеальный вес, исходя из указанных возраста, роста и пола, что, как выявлено по результатам проведенных экспериментальных исследований, поможет правильно выбрать направление по усовершенствованию тела, режима питания и поддержанию здоровья пользователя программы.

**В заключении** стоит отметить, что рассчитывать энергетическую ценность блюд, определять требуемую калорийность продуктов, оптимальную для употребления за день, умеют немногие люди, и подобные подсчеты являются лишь приблизительными. Составление ежедневного, сбалансированного меню для людей, следящим за своим здоровьем, отнимает у них много времени, сил, при этом за счет приблизительных расчетов, не всегда приносит желаемый результат. А разработанный анализатор калорийности продуктов с возможностью подбора рациона питания помогает сократить временные затраты на просчет калорийности, подбор продуктов питания и составление меню на день, неделю и месяц для соблюдения диеты, поддержания хорошей физической формы и заботы о своем здоровье.

УДК 004.738.1-57:331.5

## **САЙТ-ПОРТФОЛИО КАК МЕТОД ПРОДВИЖЕНИЯ КАНДИДАТУРЫ СОИСКАТЕЛЯ НА РЫНКЕ ТРУДА**

*Котенко Ю.В., Рюмишина О.С.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*melin1989@mail.ru*

**Введение.** Ежегодно количество профессионалов в различных сферах деятельности значительно увеличивается, а высокая конкурентоспособность вызывает трудности при получении рабочего места. В затруднительном положении находятся также и работодатели, поскольку резюме не дает наглядно увидеть возможности всех кандидатов и выбрать наиболее подходящего для их фирмы.

Решение данной проблемы было найдено в ведении портфолио, которое хранило бы в себе работы, проделанные его владельцем за определенный период времени. Такая визуализация помогала бы увеличить шанс успешного прохождения собеседования. Однако хранение бумажных копий работ вызывает множество трудностей.

С развитием информационных технологий web-разработчики начали продвижение сайтов-портфолио, которые отображают те же работы только в более удобном и структурированном формате. Суть таких сайтов заключается в эффективном представлении себя и своих работ, а также возможность продвижения на международный рынок услуг.

В работе реализована клиент-серверная часть сайта-портфолио. Web-приложение предназначено для добровольной систематизации и визуализации развития профессионального потенциала его владельца. Внедрение приложения позволит значительно облегчить поиск работы и прохождение собеседований.

**Актуальность.** К основным преимуществам сайта-портфолио следует отнести, во-первых, компактную визуализацию ранее созданных работ, во-вторых, быстрый и удобный доступ из любой точки мира, в-третьих, реализация обратной связи между посетителем сайта и его владельцем. Важной особенностью такой информационной системы является ее динамичность, что позволяет быстро обновлять или изменять архив работ.

**Целью** настоящего исследования является создание клиент-серверной части web-системы для продвижения кандидатуры на международный рынок труда.

Для реализации поставленной цели проведен ряд исследований. Сравнительный анализ существующих сайтов-портфолио позволил определить подходящий вариант структурирования информации и подобрать наиболее удобный дизайн для успешного привлечения внимания к контенту web-приложения.

**Результатом** является клиент-серверное приложение с базой данных, размещенные на удалённом сервере.

Реализованный сайт-портфолио позволяет сократить время на поиск необходимой работы в общем контенте, а поддержка мультиязычности обеспечивает возможность продвижения на международной арене.

Все работы автора располагаются на странице «Работы» и содержат визуализацию работы и ее название.

На рисунке 1 показана страница «Работы» сайта-портфолио.

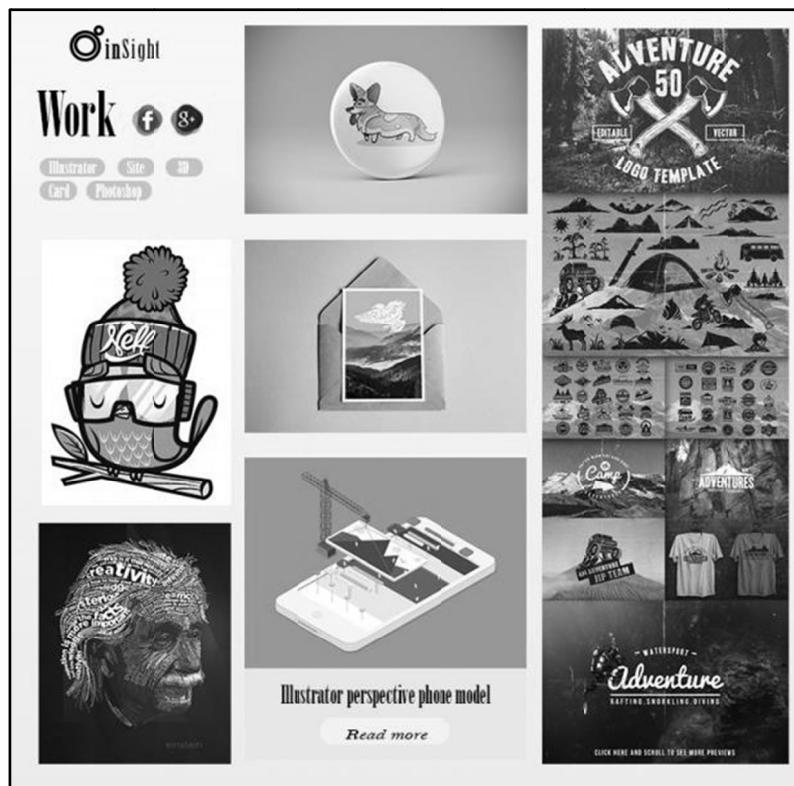


Рис. 1. Страница «Работы» сайта-портфолио

**Заключение.** Использование сайта-портфолио позволяет сократить временные затраты на подбор наиболее подходящих работ для собеседований, исключить значительные финансовые затраты и возможность непредвиденной утраты данных.

УДК 355.58

## **СПЕЦИФИКА ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧЕГО МЕСТА ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО ПЕРСОНАЛА ЭКСТРЕННОЙ ОПЕРАТИВНОЙ СЛУЖБЫ «СИСТЕМА – 112»**

***Кроль А.Н., Романова В.В.***

ГОУ СПО «Сибирский политехнический техникум», г. Кемерово, РФ  
*anna.krol.79@mail.ru*

«Система-112» предназначена для приема и обработки вызовов от населения по каналам проводной и беспроводной связи, а также в виде СМС-сообщений, поступающих в единые дежурно-диспетчерские службы, и передачи в соответствующие экстренные оперативные службы для оказания оперативной помощи жителям региона. После введения системы в эксплуатацию появится возможность сразу же передавать полную информацию о происшествии всем необходимым оперативным службам [1].

«Система-112» представляет собой комплекс информационных систем, который обеспечивает круглосуточный прием вызовов, необходимых для реагирования экстренных оперативных служб. При этом сохраняется возможность вызовов экстренных служб по номерам 01, 02, 03, 04 или 101, 102, 103, 104 [2, 3].

Развитие техники и технологии внесли значительные корректизы в условия профессиональной деятельности сотрудников дежурных диспетчерских служб. Их труд стал более интенсивным, напряженным, требующим значительных затрат умственной, эмоциональной и физической энергии. Это потребовало совокупного решения проблем эргономики, гигиены и организации труда.

Трудовая деятельность дежурно диспетчерского персонала характеризуется высокой профессиональной ответственностью, интеллектуальным и эмоциональным напряжением, присутствием стрессовых ситуаций, сменным режимом работы. Специфика работы состоит в постоянной готовности к безошибочным действиям в условиях дефицита времени, и в стремительном развитии событий.

Негативные условия, вредные и опасные факторы производственной среды усиливают эффект напряженности труда дежурного диспетчерского персонала, оказывают воздействия скорому развитию симптомов утомления, которые проявляются в отношении центральной нервной системы.

Автоматизированное рабочее место – это часть пространства, в котором дежурный диспетчерский персонал осуществляет свою трудовую деятельность, и проводит значительную часть рабочего времени.

Организации рабочего места диспетчера уделяется особенно пристальное внимание и предъявляются определенные требования:

- приемлемое размещение технических средств и оборудования;
- достаточно свободное рабочее пространство, позволяющее исполнять все необходимые движения и перемещения;
- наличие естественного и искусственного освещения для выполнения функциональных обязанностей;
- уровни акустических шумов не должны превышать допустимых значений.

Главными и неотъемлемыми элементами автоматизированного рабочего места дежурного диспетчерского персонала являются письменный стол и кресло. Основным рабочим положением при выполнении трудовой деятельности, является положение сидя.

При проектировании и планировке письменного стола следует принимают во внимание такие факторы как: высота стола, нижняя часть стола, поверхность стола исключает появление отсвета и бликов в поле зрения, наличие выдвижных ящиков для хранения документации, бумаги, канцелярских принадлежностей, и необходимых личных вещей.

Параметры рабочего места выбираются в соответствии с антропометрическими характеристиками. Очень важным фактором является область досягаемости рук в горизонтальной плоскости представлены на рис. 1.

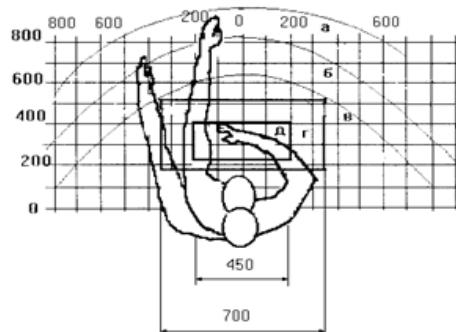


Рис. 1. Области досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – область максимальной досягаемости; б – область досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – область легкой досягаемости ладони; г – приемлемое пространство для грубой ручной работы; д – приемлемое пространство для тонкой ручной работы

Не менее важной деталью автоматизированного рабочего места дежурного диспетчерского персонала является кресло. Конструкция рабочего места должна обеспечивать удобную рабочую позу человека, что достигается регулированием положения кресла, высоты и угла наклона

подставки для ног при ее применении или высоты и размеров рабочей поверхности

Ошибки при конструировании рабочего места зачастую приводят к опасным последствиям. Неправильные позы во время работы, приводят к напряжению тела, скованности, недостаток или избыток освещения, удобное расположение органов управления или средств отображения информации – это далеко не безобидные следствия пренебрежения принципами эргономики. Каждый из этих факторов или их сочетание могут повлечь заболевания, психические стрессы, ошибки в поведении людей и как следствие не качественному обслуживанию населения. Все действия диспетчера требует максимальной ответственности и стрессоустойчивости, жизнь людей зависит от скорости и слаженности действий диспетчера.

#### **Список литературы**

1. Сайт Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <https://digital.gov.ru> (дата обращения: 15.03.2019).
2. Совершенствование технического обеспечения Операторов «Системы - 112», как путь повышения безопасности и защищенности населения России / А.Н. Кроль, О.А. Сергеев, В.В. Романова, Е.А. Попова, Р.В. Котляров // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2019. – № 1. – С.99-102.

УДК 004.77

## **АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕТИ УНИВЕРСИТЕТА**

***Мартыненко А.М., Антоник А.С., Кущенко В.Р.***  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*Vad00@mail.ua*

**Введение.** Проблема защиты информации одна из важнейших проблем современности. Несколько десятков лет назад задача защиты информации могла быть эффективно решена с помощью организационных мер и отдельных программно-аппаратных средств разграничения доступа и шифрования. Однако развитие технологий обострило эту проблему. Безопасность – это базовая концепция, которая становится более трудной для определения и соблюдения в информационную эпоху. Эффективная система информационной безопасности позволяет минимизировать риски, связанные с информацией, и способствует стабильной деятельности информационных потоков предприятия. Предметом исследования является система защиты информационной безопасности и организация работы сети ДонНУ.

**Основная часть.** Основные средства информационной безопасности проанализированы на примере защиты локальной сети Донецкого национального университета. Информационная безопасность должна обеспечивать:

- конфиденциальность данных;
- целостность данных;
- доступность данных;

В основном эти функции достигаются за счет трех главных компонентов: политики безопасности, программного и аппаратного обеспечения.

Эти компоненты одинаково сильно влияют на уровень информационной безопасности.[1] Информационная безопасность в структурном подразделении предприятия достигается за счет комбинирования программных и аппаратных средств защиты. Для университета была разработана политика безопасности, включающая в себя ограничение прав доступа на персональном компьютере на администратора и пользователя с ограниченными правами.

Компьютеры включены в доменную сеть. Чтобы посторонние не имели простой доступ к персональным данным сотрудников, используются пароли и разграничения прав доступа. Каждый сотрудник факультета зарегистрирован в доменной сети (Active Directory). Также общая сеть разделена на Intranet и Extranet. Они соединены между собой несколькими шлюзами. Таким образом, каждая сеть отдельно взятого факультета представляет собой самостоятельный сегмент сети. Такая мера позволяет изолировать угрозы друг от друга и повысить уровень отказоустойчивости сети. Так же в сети факультета применяется протокол канального уровня STP - Spanning Tree Protocol. Основной задачей STP является устранение петель в топологии произвольной сети Ethernet, в которой есть один или более сетевых мостов, связанных избыточными соединениями. STP решает эту задачу, автоматически блокируя соединения, которые в данный момент для полной связности коммутаторов являются избыточными.

В структурных подразделениях университета созданы отдельные приватные сети Wi-Fi, независящие друг от друга, имеющие разные степени защиты.

Применение сервера с фильтром использующего black - лист позволяет блокировать доступ к нежелательным web-ресурсам

Под программными средствами защиты информации понимают специальные программы, включаемые в состав программного обеспечения ЛВС исключительно для выполнения защитных функций, такие как Firewall на серверах, а так же антивирусное программное обеспечение на локальных компьютерах.

Для учета в сети используется Active Directory, с последующей регистрацией компьютеров в домене.

Для контроля интернет трафика используется утилита NetworkTrafficView для борьбы с образованием паразитического трафика и мониторинга оборудования подключенного к сетевому адаптеру.

Система распределения сети позволяет обеспечить высокую уязвимо-устойчивость за счет независимости отдельных роутеров. Поскольку как бы не была защищена система, в ней все равно присутствует так называемый «человеческий фактор», а значит и уязвимость.

**Выводы.** Проведено исследование информационной системы организации. Выполнен анализ информационных ресурсов и технических средств, выявлены потенциальные угрозы системы.

### **Список литературы**

1. Введение в основные понятия Active Directory [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pyatilistnik.org/vvedenie-v-osnovnyie-ponyatiya-active-directory/>

УДК 004.8

## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ КВАДРОКОПТЕРА НА БАЗЕ ARDUINO**

*Мартыненко А.М., Кулик А.С.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*anton.smile.1998@gmail.com*

**Введение.** Такие понятия как «дроны» и «беспилотники» сегодня перестали ассоциироваться исключительно с военной промышленностью. Коммерциализация беспилотных устройств идет полным ходом: расширяется сфера их применения, технологии становятся функциональнее и доступнее, в том числе и для простых людей.

Статистика по рынку беспилотных летательных аппаратов подтверждает этот тренд – объемы продаж беспилотников растут двухзначными темпами. Развитие телекоммуникаций и появление новых стандартов связи открывает большие перспективы в использовании дронов для разных сфер экономики: от доставки небольших грузов и фото и видеосъемки до патрулирования улиц и осуществления наблюдения для различных исследований.

Несмотря на успехи, перед разработчиками стоит большое количество вызовов: отсутствие доступных моделей, технологические ограничения для дальних полетов и вопросы программного обеспечения. Однако постоянно растущий спрос на беспилотники способствует более оперативному поиску решений этих проблем для ускорения массового внедрения дронов на потребительских и коммерческих рынках.

Последнее обстоятельство и объясняет актуальность данной работы.

**Основная идея проекта** – создать недорогой квадрокоптер с программным обеспечением для управления, который имеет автономное питание и алгоритм стабилизации полета на Arduino.

Для достижения данной цели решались следующие **задачи**:

- 1) анализ предметной области и подготовка технического задания для автоматизации работы объекта исследований;
- 2) разработка аппаратной части квадрокоптера;
- 3) расчёт и проектирование рамы квадрокоптера
- 4) подготовка приложения: UI (User Interface), а также Web-сервера на NodeMCU;
- 5) настройка приложения;
- 6) тестирование;
- 7) внедрение наработок.

**Входные и выходные данные приложения.** В полетный контроллер непрерывно поступают команды с земли: «крен 30 градусов», «крен -10 градусов», «крен 0 градусов (держать горизонт)»; его задача — как можно быстрее и точнее их выполнять с помощью моторов с учетом: ветра, неравномерного распределения веса квадрокоптера, неравномерного износа моторов, инерции квадрокоптера и т.п. Таким образом, полетный контроллер должен непрерывно решать задачу, какую скорость вращения подавать на каждый мотор с учетом текущего значения угла крена и требуемого. Непрерывно — это, конечно, громко сказано. Все зависит от вычислительных возможностей конкретного железа [1].

На Arduino вполне можно одну итерацию цикла обработки и управления уместить в 10 миллисекунд. Это значит, что раз в 10 миллисекунд будут считываться показания углов квадрокоптера, и на их основе будут отправляться управляющие сигналы к моторам. Эти 10 миллисекунд называют периодом регулирования. Понятно, что чем он меньше, тем чаще и точнее происходит регулирование.

Обобщенной задачей полетного контроллера является несколько десятков раз в секунду выполнять цикл управления в который входит: считывание показаний датчиков, считывание каналов управления, обработка информации и выдача управляющих сигналов моторам, чтобы выполнять команды пилота (рис. 1).

Различных видов датчиков, которые можно задействовать, очень много. В работе использовались ставшие уже почти обязательными во всех квадрокоптерах трехосевой гироскоп и трехосевой акселерометр. Акселерометр измеряет ускорение, гироскоп измеряет угловую скорость. Благодаря им полетный контроллер узнает текущие углы тангажа, крена и рыскания. Эти датчики бывают встроеными в полетный контроллер, а бывают внешними. Процесс вычисления трех углов по показаниям датчиков производит MPU-6050. Это небольшая плата, проводящая

необходимые вычисления и фильтрации у себя внутри и выдающая по протоколу i2c уже почти готовые углы. Остается их считать, обработать с остальными данными и выдать управляющие сигналы моторам.

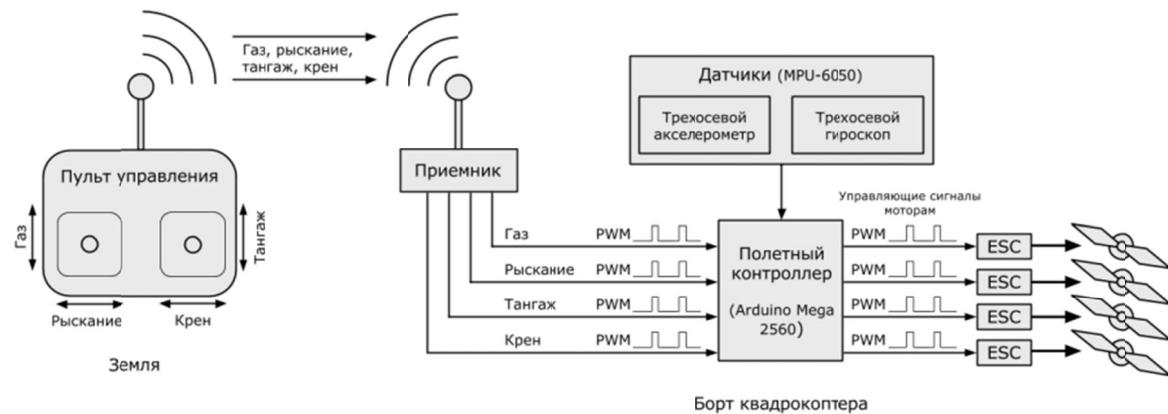


Рис. 1. Модель процессов

«Протокол» общения между регулятором и мотором нам не так важен, как «протокол» общения между полетным контроллером и регулятором, ведь нам предстоит из контроллера программно управлять регулятором. Бывают регуляторы, управляемые по i2c, но наиболее распространенные управляются сигналом прямоугольной формы с минимумом 0 вольт и максимумом 3-5 вольт (его называют ШИМ или PWM, а некоторые утверждают, что правильнее — РРМ).

**Выводы.** Сегмент рынка электроники и, в частности, летающих дронов развивается достаточно интенсивно, на рынок периодически поступают совершенно новые и непохожие на другие модели, что свидетельствует об огромном потенциале этой категории устройств. Мультикоптеры, квадрокоптеры и дроны, не имеющие двигателей вовсе, вызывают огромный интерес и с каждым днем получают все больше и больше поклонников. Поэтому так важно знать о том, какие планы имеются у их производителей и чем они планируют удивлять потребителей.

Цель работы состояла в разработке аппаратной и программной квадрокоптера на базе Arduino, под управлением программного обеспечения, которое позволило бы вести стабильный контроль летательного аппарата посредством беспроводного подключения, а именно Wi-Fi точки доступа. Разработка аппаратной части завершена. Квадрокоптер успешно прошел тестирование. Все недочёты конструкции были устранены. Дальнейшее развитие проекта, связано с написанием собственного программного обеспечения, которое обладает дополнительными и неотъемлемыми функциями администрирования полета летательного аппарата. Так же помимо тонких настроек и графиков, будут рассмотрены разные модели управления, дающие преимущество в разных сферах применения.

## Список литературы

1. Квадрокоптер на Arduino своими руками / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://arduino-diy.com/arduino-kvadrokopter-svoimi-rukami/> (дата обращения: 01.02.2019)
2. Программируем квадрокоптер на Arduino / 2014 / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/227425/> (дата обращения: 01.02.2019)
3. Quadcopter With Nodemcu and Blynk / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.instructables.com/id/Quadcopter-With-Nodemcu-and-BlynkWithout-Flight-Co/> (дата обращения: 02.02.2019)
4. Настройка Arduino IDE для NodeMCU/ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://robotclass.ru/articles/node-mcu-arduino-ide-setup/> (дата обращения: 02.02.2019)

УДК 622.232

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

*Мезников А.В.<sup>1</sup>, Ломонос Г.Т.<sup>2</sup>*

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

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

*donuglemash@mail.ru, lomonos.gn@gmail.com*

**Введение.** Технический прогресс обуславливает развитие горнодобывающей промышленности в направлении перехода на машины и механизмы с элементами искусственного интеллекта и роботизированные комплексы, следствием чего является изменение роли человеческого фактора в эксплуатации горных инженерных систем и мониторинга их состояния. В свою очередь это способствует повышению уровня безопасности и санитарно-гигиенических условий труда горняков в горнодобывающей промышленности.

**Цель.** При разработке программного обеспечения системы технологического онлайн мониторинга параметров функционирования роботизированного комплекса на этапе проектирования в условиях, когда тестирование невозможно с физической реализацией объекта, разработана имитационная модель функционирования объекта с целью проведения экспериментов с информационной системой мониторинга для ее отладки и тестирования. Основными задачами системы технологического онлайн мониторинга является представление информации в системе визуализации о технологических параметрах оборудования роботизированного комплекса в реальном времени и формирование отчетов анализа условий эксплуатации оборудования на основании собранных данных. Функциональная схема информационной системы (ИС) приведена на рис. 1.



Рис. 1. Функциональная схема ИС мониторинга

Программное обеспечение системы мониторинга и имитационной модели объекта выполнено в виде проектов для мониторов реального времени двух сетевых узлов в программной системе для автоматизации технологических процессов SCADA TRACE MODE ® [1]. На основе получаемых данных из узла имитационной модели объекта по протоколу Modbus в узле ИС онлайн мониторинга и первичной обработки данных осуществляется в режиме реального времени визуализация хода протекания технологического процесса и наблюдение трендов значений измеряемых параметров объекта, а также архивация данных и генерация аналитических отчетов. Главный экран оператора ИС мониторинга приведен на рис. 2.

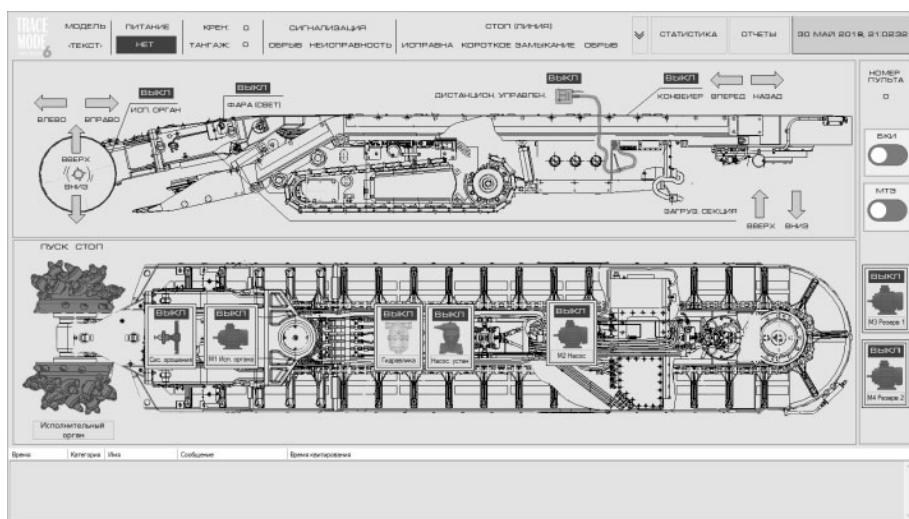


Рис. 2. Главный экран оператора ИС мониторинга

Также для каждого отдельного узла объекта мониторинга в ИС разработаны экраны подробной информации, вызываемые по усмотрению оператора. Например, экран для узла рабочего механизма, на котором отображается состояние его элементов управления и тренды измеряемых технологических параметров приведен на рисунке 3.

Программное обеспечение интерактивной имитационной модели объекта обеспечивает в реальном времени передачу по каналу связи аналоговых и дискретных сигналов моделирования функционирования объекта в ИС для их обработки, визуализации и анализа. На рисунке 4 представлена графическая панель управления объектом. Данное

программное обеспечение предусматривает как ручное управление, так и автономный режим работы, в частности реализуется автоматический режим пространственной ориентацией движения роботизированного комплекса в заданном направлении по алгоритму, приведенному в [2].

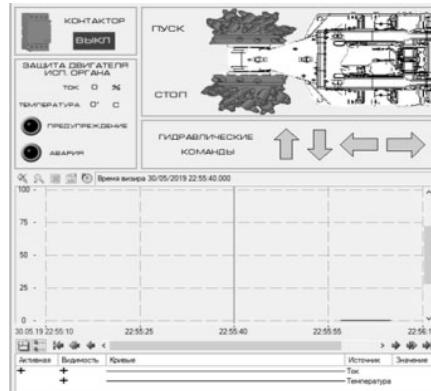


Рис. 3. Экран параметров рабочего механизма

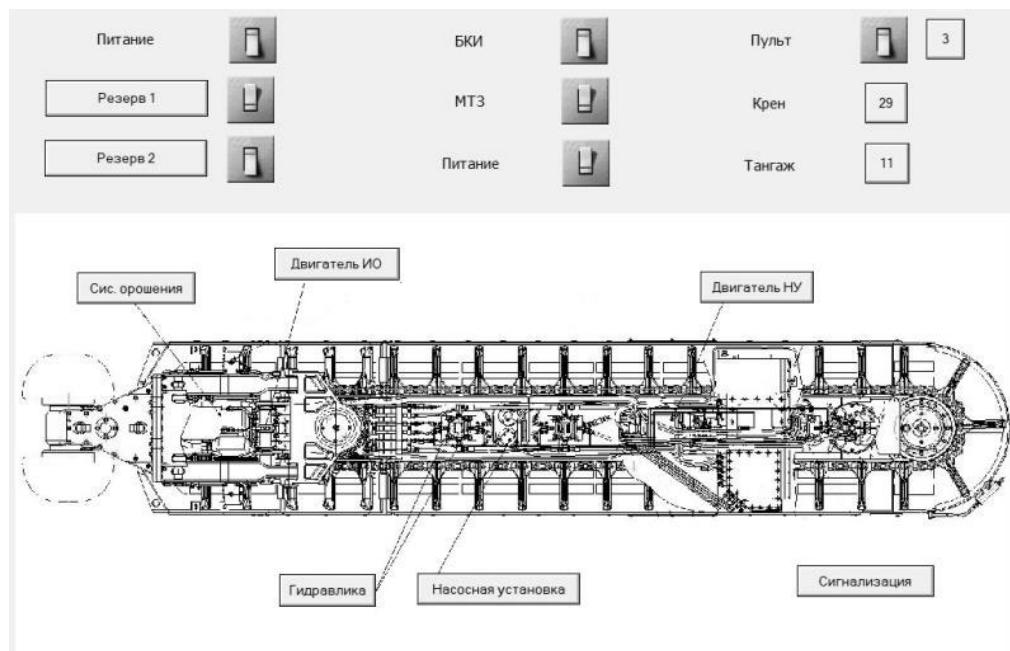


Рис. 4. Графическая панель интерактивной имитационной модели

**Результат.** Принятый подход к разработке прикладного программного обеспечения позволяет при помощи имитационного моделирования не только выполнить тестирование ИС мониторинга на этапе проектирования объекта мониторинга, но и позволяет расширить круг исследовательских задач, в том числе определить временные и технические параметры для последующей разработки и реализации ряда подсистем роботизированного комплекса.

### Список литературы

1. Руководство пользователя. TRACE MODE 6. – Москва: AdAstra Research Group, Ltd., 2015. – 633 с.

2. Ломонос Г.Т. Методы автоматического управления позиционированием движения проходческого комбайна // Интеллектуальные технологии и проблемы математического моделирования: материалы Всерос. науч. конф. (24–26 сентября 2018 г.) / под общ. ред. Б.В. Соболя; Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. – С. 58–59.

УДК 62-1/-9

## АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SWAN SOFT CNC В РАБОТЕ СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Никитин К.А.*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола, РФ  
*Nikitin-Konstantin-Wood@yandex.ru*

**Введение.** Swan Soft CNC – это программа, назначение которой является, визуализация фрезерной и токарной обработки, а также составление 3D моделирования. Программа успешно применяется, как в металлообработке, так и в деревообработке.

**Цель.** В ходе моего научного исследования, я ставили задачу рассмотреть основные функции данной программы, а так же изучить более подробно некоторые параметры, а именно:

1. Рассмотрение размеров получаемой детали
2. Рассмотрение поверхности обрабатываемой детали
3. Способы закрепления заготовки или детали
4. Загрузку управляющей программы

Особенностью данной программы является то, что в её состав входят такие CNC системы как:

1. HAAS
2. SINUMERIC
3. FANUC
4. EZ-MOTION
5. FAGOR
6. И т.д.

**Основная часть.** В ходе исследования мною были рассмотрены следующие вопросы:

1. Подготовительные операции, обнуление и зануления как станка, так и программы, способы выбора инструмента, а так же его смены, закрепления черновой заготовки.
2. Выбор траектории
3. Установка управляющей программы
4. Изучение полученных линейных размеров, а также поверхности детали.

Плюсы программы Swan Soft CNC заключаются в следующем:

1. Есть возможность изучить пульт оператора, ЧПУ станка в не цехового помещения.
2. Понятное изучение основных узлов и агрегатов станка.
3. Простота в создание и загрузке управляющей программы и её визуализация.

К минусам программы Swan Soft CNC стоит отметить, то что имеет место не совсем точное позиционирование контура при загрузке управляющей программы, из-за чего необходимо настраивать координаты инструмента.

**Заключение.** Изучив программу Swan Soft CNC, можно сделать вывод, что хоть она и имеет, как все, недостатки, всё же плюсов в ней больше. Поэтому логичное, что в современной промышленности она начинает пользоваться популярностью, ведь имея понятный и логичный программный продукт, мы можем сократить время изготовления детали, а так же улучшить его характеристики.

### **Список литературы**

1. Материалы WEB-страницы «Работа с симулятором станка с ЧПУ Swansoft CNC Simulator» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://prod.bobrodobro.ru/58993>
2. Материалы WEB-страницы «Nanjing Swansoft | Swansoft CNC machine simulation» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.swansc.com/en/download/video.html>

УДК 004.89:004.912

## **ОБ АВТОМАТИЧЕСКОМ ПОСТРОЕНИИ ДЕРЕВА СИНТАКСИЧЕСКОГО ПОДЧИНЕНИЯ**

*Ниценко А.В.*, канд. техн. наук,

*Шелепов В.Ю.*, д-р физ-мат. наук, профессор

ГУ «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк, ДНР

*gu\_ipii@mail.ru*

Компьютерная обработка текстов на естественном языке необходима в прикладных системах, ведущих поиск и анализ информации. Этой тематике посвящено множество работ, однако до настоящего времени число эффективно действующих синтаксических анализаторов не превышает полутора десятков. Каждый из них преимущественно ориентирован на решение своего круга задач. В связи с этим постоянно ведутся разработки новых программных продуктов.

Мы будем иметь дело с произвольным правильным простым распространенным русским предложением. Для каждого его слова, кроме

одного выделенного, требуется найти подчиняющее слово (хозяина). Это позволит сопоставить предложению дерево, которое называют подчинительным деревом или деревом синтаксического подчинения. Упомянутое выделенное слово не будет иметь подчиняющего слова и будет таким образом находиться в корне дерева.

Задача будет решаться на основе идентификации составляющих предложение словоформ путем поиска их в словаре [1] русских словоформ, содержащем более 4 миллионов единиц. Этот словарь организован как множество строк, объединенных в блоки, каждый из которых начинается леммой и образует полную парадигму слова. Порядок лемм – алфавитный. Пример такого блока:

ехать | гл несов непер инф

.....  
едути | дееп несов непер наст

Вслед за разделительным знаком | приведена морфологическая информация о словоформе. Она выражается аббревиатурами и сокращениями, смысл которых понятен без объяснений.

Мы используем представление множества всех словоформ этого словаря в виде префиксного дерева (см. по этому поводу [2]). Это позволяет, несмотря на сверхбольшой объем словаря, почти мгновенно осуществлять в нем поиск всех словоформ, соответствующих заданной последовательности символов, и получать результат в виде последовательности строк, которую мы будем называть группой. Пример:

ложка | сущ неод ед жен им (1)

ложка | сущ неод ед муж род

На рисунке 1 представлено окно программы, содержащее результат работы с предложением «Закончив работу, он выключил свой компьютер».

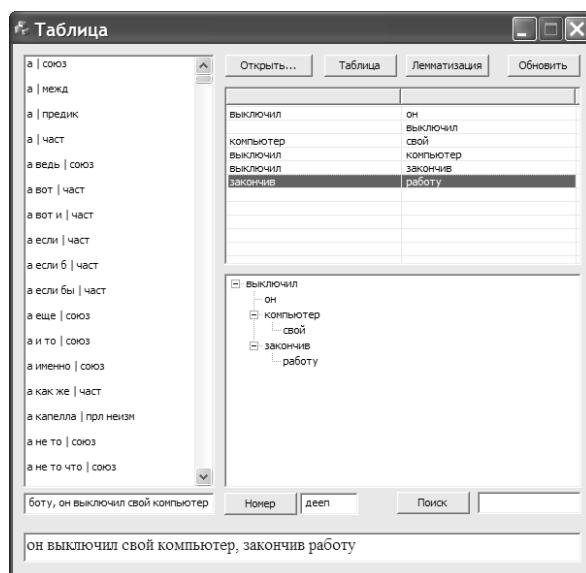


Рис. 1. Пример построения дерева синтаксического подчинения для простого предложения

В правом верхнем поле автоматически создается таблица с двумя столбцами. Правый столбец заполняется сверху вниз словами предложения, в левом – для каждого слова записывается слово, его подчиняющее. Эта таблица определяет подчинительное дерево, которое графически отображается в примыкающем снизу поле с использованием стандартного элемента управления «древовидный список».

Можно сформулировать следующие основные правила подчинения:

1. Однаковые части речи в одинаковой форме, разделенные запятыми или соединенные союзами «и», «да», «или», «либо», объединяются в блок и помещаются в единую строку таблицы.

2. Следующие друг за другом числительные объединяются в блок – сложное числительное и помещаются в единую строку таблицы.

3. При наличии в корень дерева помещается предикатив, глагол, причастие в краткой форме или прилагательное в краткой форме (приоритеты соответствуют порядку перечисления).

4. Прилагательное, местоимение-прилагательное или причастие, за которым непосредственно следует согласованное с ним существительное или местоимение-существительное, подчиняется ему.

5. Наречие подчиняется непосредственно следующему за ним глаголу, причастию, деепричастию, прилагательному или местоимению-прилагательному.

6. Предлог подчиняет существительное или местоимение-существительное, к которому он относится. При этом осуществляется выбор, обеспечивающий согласование падежей.

7. Все оставшиеся неподчиненными слова подчиняются слову, стоящему в корне дерева.

Если бы каждая группа вида (1) состояла из единственной строки, этих правил было бы достаточно для построения желаемого дерева. Дело осложняется широко распространенной в русском языке омонимией. За счет этого группа может содержать несколько строк, среди которых необходимо произвести выбор.

Одновременно с таблицей рисунка 1 создается текстовый файл, содержимое которого приведено ниже:

закончив | *деен сов перех прои*

работу | *суц неод ед жен вин*

,

*он | мест суц ед муж им*

*выключил | гл сов перех прои ед муж*

*свой | суц одуши ед муж им*

*свой | мест прил ед муж им*

*свой | мест прил ед муж вин неод !*

компьютер | сущ неод ед муж им  
компьютер | сущ неод ед муж вин !

Восклицательный знак обозначает результат автоматического выбора в группе из нескольких строк. В данном случае выбор определяется тем, что именительный падеж однозначно закреплен за словом «он». Основное содержание работы – создание набора такого рода правил, использующих, в частности, знаки препинания.

Проведенные исследования показали, что разработанный набор правил позволяет достаточно успешно строить деревья синтаксического подчинения. Кроме морфологической разметки текста, полученные результаты могут использоваться также для извлечения информации из текстов на естественном языке.

### **Список литературы**

1. Хаген М. Полная парадигма. Морфология [Электронный ресурс] // Форум «Говорим по-русски» [сайт]. 2018. URL: <http://www.speakrus.ru/dict/#morph-paradigm> (дата обращения: 19.11.2018).
2. Ниценко А.В. Разделение сплошного текста на слова [Текст] / А.В.Ниценко, С.А.Большакова, В.Ю. Шелепов // Проблемы искусственного интеллекта. – 2018. – №3(10). – С. 94-103.

УДК 612.821/159.9/616.89

## **БЕЗМЕДИКАМЕНТОЗНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ МОНИТОРИНГ ПФС ЛИЧНОСТИ – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

***Пигуз В.Н., Ивашико К.С., Изосимова С.А.***

ГУ «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк, ДНР  
*maxrvn77@gmail.com*

**Введение.** Современность требует от человека максимальной отдачи – напряжения как физиологических, так и психологических сил. Действительность перенасыщена психофизиологическими опасностями для человека, которые представляют собой единство физиологических и психологических факторов окружающего мира. Однако, защищенность человека от опасностей подобного напрямую зависит от его индивидуальных психических характеристик: темперамента, внимания, мышления, воли, координации движений, эмоциональной устойчивости и т.п.

Психофизиологические качества и состояния проявляются в персональной чувствительности на возникновение потенциальной опасности, скорости и эмоциональности реакций на нее. При этом они напрямую зависят от индивидуальных особенностей личности: например, от состояния нервной системы в данный момент. Например, в состоянии

тревожности человек острее реагирует на признаки потенциальной опасности. Однако, чрезмерное напряжение психологических и физических сил, характерное для этого состояния, способствуют чрезмерной утомляемости, в результате чего организм человека быстро слабеет и теряет силы.

Поэтому разработка безмединментозной компьютерной системы коррекции ПФС человека является одной из важнейших проблем современных компьютерных технологий.

**Цель.** Научная разработка компьютерной системы психофизиологического диагностирования, интеллектуально-духовной реабилитации и безмединментозной терапии.

**Основная часть.** Среди недочетов существующих систем безмединментозного компьютерного тестирования и коррекции ПФС личности (например, комплекс «Омега-Медицина», программный комплекс «ValeoTest») следует отметить следующие:

1. Ограниченные возможности подключения дополнительных диагностических модулей;
2. Невозможность одновременного тестирования больших групп людей;
3. Чрезмерно затратное в финансовом плане использование в бюджетных учреждениях.

Решению вышеуказанных проблем посвящена научная разработка компьютерной системы психофизиологического диагностирования, интеллектуально-духовной реабилитации и безмединментозной терапии сотрудников Государственного учреждения «Институт проблем искусственного интеллекта». Авторы поставили перед собой задачи разрешить следующие функциональные требования:

- формирование заключения о ПФС тестируемого и сохранение результатов для последующего анализа;
- классификация результатов по ВУЗу, месту работы;
- группировка результатов по биологическим показателям: возрасту, полу;
- возможность мало затратного подключения дополнительного медицинского модуля, для добавления тестирующих методик.

Входные данные представляют собой личные данные тестируемых, а также числовые варианты, полученные в результате тестирования. Причем предполагается хранение полученных результатов и сопутствующей информации в базе данных.

При разработке программного обеспечения использовался структурный метод разработки. Программа представляет собой структурированную композицию модулей, у каждого из которых – один вход и один выход, т.е. законченная конструкция для решения поставленной задачи. Цель программы реализуется за счет композиции модулей, составленной для решения определенной задачи.

Главным элементом системы является база данных, т.е. хранилище большого количества информации, поступающих с компьютеров пользователей-тестируемых. Необходимый объем данных – 5-10 Мб в день [1]. А также особая роль отводится таким функциям, как восстановление после сбоев, резервное копирование и откат изменений, позволяющим сохранять и в случае необходимости корректировать полученную от пользователей и в результате тестирования информацию.

Таким образом, в системе формируются и активно взаимодействуют три центральных объекта: «Пациент»: содержит данные о ФИО, дате рождения, поле; «Организация»: идентификатор организации (структурной иерархии: отдела, подотдела), идентификатор родителей, «Тесты»: название, дата проведения, данные, полученные в ходе тестирования, заключение [2]. Подобная научная разработка уже проводилась на базе Череповецкого государственного университета.

Из вышесказанного следует следующий **вывод** о том, что научная разработка компьютерной системы психофизиологического диагностирования, интеллектуально-духовной реабилитации и безмиксантозной терапии сотрудников Государственного учреждения «Институт проблем искусственного интеллекта» решает основные проблемы, стоящие на сегодня в данной области (компьютерного безмиксантозного моделирования):

- в оптимальные сроки сформировать предварительно обработанную базу предприятия либо учреждения;
- создать программное обеспечение, обладающее возможностью реального применения простых и малозатратных способов модернизации существующей системы методик. Например, подключение дополнительных компьютерных диагностирующих функционалов [3];
- обеспечение одновременного тестирования большой (более 10) группы человек;
- создание «клиентского» приложения для анализа статистики, графического представления результатов и формирования отчетов» [4].

## Список литературы

1. Маклаков А.Г. Общая психология / А.Г. Маклаков. – Спб.: Питер, 2001. – 592 с.
2. Экономика предприятия: учебно-методическое пособие / А.В.Киселева и др. – Череповец: ЧГУ, 2001.
3. Ходырев В.В. Программирование на языке Си: учеб. пособие / В.В.Ходырев, Н.А.Щегряев. – Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2005.
4. Сальников И.С. Проблемы и перспективы глубокой автоматизации и роботизации компьютерных технологий / И.С.Сальников, С.Б.Иванова, Р.И.Сальников // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – 2018. – № 1 (8). – С. 33–40.

## ПРИМЕНЕНИЕ АУГМЕНТАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

*Пикалёв Я.С.<sup>1</sup>, Ермоленко Т.В.<sup>2</sup>*, канд. техн. наук

<sup>1</sup>ГУ «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк, ДНР

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

*pikaliov@gmail.com, naturewild71@gmail.com*

**Введение** Условия, в которых проходит эксплуатация систем автоматического распознавания речи, практически никогда не совпадают с условиями, в которых проходило обучение акустических моделей. Следствием этого является то, что построенные модели не являются оптимальными для данных условий. Основные факторы, искажающие речевой сигнал или обуславливающие его вариативность:

1. Голосовой тракт и манера произнесения.
2. Шум помещений.
3. Реверберация – переотражённый от стен основной сигнал.
4. Шумы микрофона, канала передачи и квантования.

Вышеуказанные факторы исправляют двумя способами:

- 1) обесшумливанием речевого сигнала;
- 2) посредством обучения акустических моделей при помощи зашумления обучающей выборки или аугментации (под аугментацией данных понимается метод, использующийся для увеличения количества обучающих данных, что позволяет сделать модель более устойчивой).

Но обычно сигнал, прошедший процедуру шумоподавления, не обеспечивает распознавание на высоком уровне. Это является следствием того, что шумоподавление предназначено для получения субъективных критериев качества и разборчивости звука, т. е. не для того, чтобы трансформировать зашумлённые признаки к признакам чистого сигнала. В свою очередь процесс обучения ресурсоёмок, а количество различных шумов огромно, поэтому необходимо, используя акустические модели, полученные в каких-то фиксированных условиях (обычно с минимальным шумом), научиться распознавать речевой сигнал, полученный в других шумовых условиях [1-2]. Для этих целей и применяется аугментация.

**Цель** работы – разработать стратегию аугментации, позволяющую повысить результаты распознавания речи, проверить эффективность метода аугментации на представительной выборке.

**Стратегия аугментации обучающей речевой выборки.** Стоит отметить, что в работе не рассматривались методы для аугментации спектрограмм, такие как SpecAugment [3], т. к. они применяются в end-to-end акустических моделях, процесс обучения которых требует большого объёма речевого материала и временных ресурсов.

Предложенная стратегия аугментации состоит из следующих модулей.

1) Использование масок микрофонных решеток. Был использован метод из работы [4], который заключается в записи микрофонных решёток с величиной отношения сигнал/шум от 10 до 20 дБ, наложенных поверх оригинальной аудиозаписи. Если длина шума ( $t_s$ ) меньше длины оригинальной дорожки ( $t_{orig}$ ), то шум дублируется до достижения  $t_{orig}$ . Если  $t_s > t_{orig}$ , то шум обрезается до  $t_{orig}$ . Данный подход применяется на большинстве этапов, кроме этапов 6-8.

2) Наложение аудиозаписей шумов (лай собак, шум автобуса и т.п.).

3) Использованием аддитивного шума, присутствующего в обычных помещениях и реверберации (для небольших, средних и больших помещений).

4) Наложение музыки.

5) Наложение голоса другого диктора.

6) Использование вокодера для смены высоты тона речи (с коэффициентом деформации 0.9 и 1.1). Для данного этапа был применён алгоритм синхронного накладывающегося окна с равномерным шагом [5], заключающийся в следующем. Допустим у нас есть сигнал  $y_{P_0}(t)$ :

$$y_{P_0}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} h(t - kP_0),$$

где  $P_0$  – его период,  $h()$  – импульсная характеристика фильтра.

Задача состоит в том, чтобы изменить сигнал  $y_{P_0}(t)$  посредством изменения его периода  $P_1$ . Для этого выполняются следующие шаги:

- извлекается импульсная характеристика сигнала из  $y_{P_0}(t)$ ;
- находится местоположение каждого периода основного тона, путем нахождения пиков в сигнале, приближённых к  $P_0$ ;
- вычисляется новый период  $P_1$ :  $P_1 = \frac{F_s}{F_{new}}$ ,

где  $F_s$  – текущая высота тона,  $F_{new}$  – новая высота тона:  $F_{new} = \beta F_s$ ;

– для каждого нового шага  $i = \{P_1, 2P_1, 3P_1, \dots\}$ : найти ближайший шаг в исходном сигнале; аппроксимировать импульсный отклик, применив окно Хеннинга длиной  $2P_0+1$ ; центрировать исходный шаг; перекрыть его и добавить оконный шаг, полученный при помощи окна Хеннинга, в новый буфер с центром в индексе  $i$ .

7) Применение вокодера с тональной маской другого диктора (отличие от этапа 6 состоит в том, что извлекается импульсная характеристика из аудиозаписи другого диктора);

8) Изменение скорости речи (с коэффициентом деформации 0.9 и 1.1).

**Численные исследования.** Был проведен эксперимент над акустическими моделями, обученными с применением машинного обучения (скрытых марковских моделей и гауссовых смесей). Обучающая

выборка состояла из 8\*14 ч аудиозаписей (8 ч оригинальных и 8\*13 ч аугментированных), тестовая выборка состояла из 2 ч. В качестве акустических признаков использовались мел-спектральные коэффициенты (размерностью 40) и коэффициенты перцептивного линейного предсказания (размерностью 3). Языковая модель была обучена на основе триграмм, на текстовых данных, извлечённых из новостных лент и книг. Словарь был сформирован из 500 тыс. наиболее встречаемых слов, извлечённых из языковой модели. Была обучена монофонная (mono) и трифонная (tri1) акустические модели без применения аугментации (WER\_wo) и с её применением (WER\_with, табл. 1).

Таблица 1  
Результаты распознавания

Модель	WER_wo	WER_with
mono	72.31	74.01
tri1	41.47	40.33

**Заключение.** Проведенные эксперименты показывают, применение аугментации повышает робастность акустической модели и улучшает качество распознавания речи (уже на этапе tri1 можно увидеть уменьшение WER на 1,14%). Стоит также отметить, что применение аугментации влечёт за собой значительное увеличение обучающей выборки, что влияет на количество времени и вычислительные ресурсы необходимые для обучения акустической модели. Поэтому целесообразно использовать аугментацию при наличии небольшой обучающей базы, а также при использовании больших вычислительных ресурсов.

### Список литературы

1. Тампель И.Б. Автоматическое распознавание речи / И.Б.Тампель, А.А.Карпов // Учебное пособие.– СПб: Университет ИТМО. – 2016.
2. Ko T. et al. Audio augmentation for speech recognition //Sixteenth Annual Conference of the International Speech Communication Association. – 2015.
3. Park D. S. et al. SpecAugment: A simple data augmentation method for automatic speech recognition //arXiv preprint arXiv:1904.08779. – 2019.
4. Ko T. et al. A study on data augmentation of reverberant speech for robust speech recognition //2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2017. – P. 5220-5224.
5. Syrdal A. et al. TD-PSOLA versus harmonic plus noise model in diphone based speech synthesis // Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP'98 (Cat. No. 98CH36181). – IEEE, 1998. – Т. 1. – P. 273-276.

## ОБЗОР ПОДХОДОВ К ОБНАРУЖЕНИЮ НОМЕРНОГО ЗНАКА АВТОМОБИЛЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

*Савенков И.Н.*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*sim675kn@gmail.com*

**Введение.** Существует множество различных систем для анализа автомобильных регистрационных номеров. Системы распознавания состоят из нескольких этапов – обнаружение один из них.

**Цель.** Рассмотрение и сравнительный анализ трёх методов для обнаружения автомобильного номера на изображении.

**Актуальность.** Системы обнаружения большого количества объектов по средствам автоматизации за счёт использования информационных вычислительных средств в задаче по работе с автомобильными номерами.

Для нахождения номерного знака автомобиля на изображении существуют три подхода:

1) Поиск номера с использованием LBP или Каскадов Хаара. LBP – работает быстрее, но даёт значительно хуже результат чем Каскады Хаара, поэтому рассматривается в рамках данной статьи. (Haar).

2) Метод гистограмм или частотный метод. Поиск номерного знака на основе обнаружения прямоугольной формы номера. (Hist).

3) Использование нейронной сети. В рамках данной статьи рассматривается свёрточная нейронная сеть с использованием скользящего окна. Нейронная сеть реализована на основе модели Google – InceptionV2 и TensorflowAPI. (CNN).

На рисунках ниже представлены тестовые изображения автомобилей, на которых синим, зелёным или красным прямоугольником выделен (зависит от метода) номерной знак автомобиля и в правом верхнем углу указано время работы метода.

Приведённые изображения для всех тестов одинаковы и имеют хорошую читаемость номерных знаков, поэтому каждый метод нашёл номер на изображении.

1. Поиск автомобильного номера с использованием каскадов Хаара.





## 2. Поиск номера с гистограммы (частотный метод)



Если сравнивать каскады Хаара и гистограммный метод, то гистограммный метод быстрее, но очень незначительно, а точность значительно хуже.

### 3. Поиск номера с использованием нейронной сети



Таблица 1  
Результаты

Номер изображения	Haar. Время, ms	Hist. Время, ms	CNN. Время, ms
1	0,233	0,196	5,018
2	0,212	0,183	4,982
3	0,179	0,180	4,971
4	0,207	0,193	4,957
5	0,190	0,196	5,044
6	0,199	0,170	4,988
Итог	1,220	0,922	29,960

Итоги проведения сравнительного анализа показали, что свёрточная нейронная сеть имеет большую точность, но скорость работы значительно ниже чем у каскадов Хаара или гистограммного (частотного) метода.

**Заключение.** Как показали исследования, оптимальный вариант – использовать каскады Хаара. Если номер не найден – нейронную сеть.

## Список литературы

1. Paul Viola. Jones Robust real-time object detection / Paul Viola and Michael J. // Proc. of IEEE Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision. – 2001.
2. Huili Han, Rumping Han “Method of License plate Location Based on Edge Detection and Color Information”, IEEE, 978-1-4577-1701- 7/11, 2011, pp1477-1480.
3. J. Deng, W. Dong, R. Socher, L. J. Li, K. Li, and L. Fei-Fei, “ImageNet: A large-scale hierarchical image database,” in 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 2009, pp. 248–255.

УДК 004.912

## РАСШИРЕНИЕ ПОИСКОВЫХ ЗАПРОСОВ С УЧЕТОМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДАННЫХ

**Сигидиненко В.Д., Шарий Т.В.**, канд. техн. наук,  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*veronikasigidinenko@gmail.com*

**Введение.** Объем данных в сети интернет постоянно и стремительно растет, поэтому сейчас активно развиваются и совершенствуются подходы к автоматическому поиску наиболее релевантной информации. Входной запрос пользователя в поисковых системах представлен на естественном языке и выражается обычно триплетами, графическими представлениями, набором ключевых слов и отдельных фраз [1]. Как правило, такие ручные запросы недостаточно точны, и возникает необходимость в методах дополнения запросов (query expansion, QE) [2]. **Целью** работы является разработка QE-модели, которая улучшает существующие модели путем дополнительного учета всей имеющейся информации о пользователе, формирующем запрос.

**Автоматическое расширение поисковых запросов.** QE-модель формально выполняет переформулирование исходного текстового запроса пользователя  $Q$ , состоящего из набора  $n$  термов:  $Q = \{ t_1, t_2, \dots, t_n \}$ . Запрос-результат представляет собой набор новых  $k$  термов без включения стоп-слов (артиклей, предлогов, междометий, случайных символов и другого текста, не несущего смысловой нагрузки). Общая схема QE-процесса включает четыре этапа: 1) предварительная обработка источников данных; 2) взвешивание и ранжирование промежуточных термов; 3) отбор взвешенных термов; 4) переформулирование запроса. Первые два этапа опираются на методы лингвистики (стемминг, синтаксический и семантический анализ), а также на базы документов и журналы действий пользователя. В данной работе на этом этапе подключаются профили человека в социальных сетях и, возможно, его личные сайты и каналы. Ранжирование термов производится с помощью тезаурусов, наиболее крупным и популярным из которых является WordNet. Программная

реализация QE-модели выполняется в экосистеме Python. Одно из направлений дальнейшей работы связано с проведением сравнительного анализа разных мер сходства термов: Джаккарда, Дайса, Резника и др.

#### **Список литературы**

1. Boer M., Schutte K. Knowledge based query expansion in complex multimedia event detection // Multimedia Tools and Applications. – 75(15). – 2016. – P.9025-9043.
2. Lucchese C. Efficient and Effective Query Expansion for Web Search // Information and Knowledge Management. – 2018. – P.1551-1554.

УДК 004.94

### **РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ ФОРМУЛЯРА ПО БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ**

***Трушина Е.А.***

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань, РФ  
[rgrtu@rsreu.ru](mailto:rgrtu@rsreu.ru)

Множество объектов информатизации организации могут строиться на разных серверах и локальных сетях, на разном системном и прикладном программном обеспечении. Они могут размещаться компактно или территориально-распределенно. При этом у инженера по защите информации и службы режима организации существуют плохо задокументированные зоны ответственности и особенно общие зоны ответственности. Кроме этого существует ряд проблем, усложняющих системное представление объектов защиты в сознании лиц, защищающих информацию [1]:

1. В организациях наблюдается усложнение взаимосвязей между техническими, программными и организационными системами.
2. Увеличивается число используемых мобильных вычислительных и телекоммуникационных устройств.
3. Объекты информатизации находятся в постоянном изменении из-за смены поколений вычислительных средств, программного обеспечения, систем телекоммуникации, изменений в масштабе организации и изменений законодательства.
4. Быстрое развитие беспилотных летательных аппаратов, лазерных систем считывания информации, миниатюрных микрофонов и камер наблюдения, наличие в стенах многочисленных кабельных трасс, учет зон наблюдения видеокамер наблюдения требует построения уже не 2D моделей здания, а трехмерных динамических моделей.

5. Большое количество автоматизированных информационных систем (АИС), электронных журналов контроля поведения пользователей требует разработки моделей надежного архивного хранения информации.

Для эффективного выполнения инженером по защите информации своих должностных обязанностей в организации целесообразно разработать комплексный документ под названием «Формуляр по безопасности информации» для документирования объектов информатизации на модельном уровне. Такой комплексный документ можно разработать на основе интегральных моделей отдельных объектов информатизации, представляя каждый объект информатизации с различных точек зрения (компонентной, морфологической, эволюционной и специальной). «Формуляр по безопасности информации» может служить рабочим документом инженера по защите информации, где в виде набора моделей размещена комплексная информация об объектах информатизации, угрозах этим объектам, рисках и системах защиты информации.

Каждый объект информатизации представляет собой человеко-машинную систему (ЧМС), которая находится в метасистеме [2]. При этом на объект информатизации воздействуют смежные и возмущающие системы метасистемы.

Для анализа каждого объекта информатизации как человеко-машинной системы необходимо проведение системно-эргономического анализа [2], включающего: компонентный, морфологический, эволюционный анализ ЧМС, а также анализ специальных функций данной ЧМС. В результате анализа разрабатываются компонентные, морфологические, эволюционные и специальные модели, все вместе представляющие интегральную модель ЧМС  $i$ -го объекта информатизации. Интегральная модель системы ( $IMS$ ) несет наиболее полную информацию о человеко-машинной системе и позволяет полнее учесть особенности и взаимосвязи элементов объекта информатизации.

Интегральную модель объектов информатизации можно представить кортежем:

$$IMS = \langle CMS_i, MMS_i, EM_i, SMS_i \rangle,$$

где  $CMS_i$  – компонентная модель  $i$ -той системы,  $MMS_i$  – морфологическая модель  $i$ -той системы,  $EM_i$  – эволюционные модели  $i$ -той системы,  $SMS_i$  – специальные модели системы,  $i$  – номер объекта информатизации.

Компонентные модели представлены компонентно-системными, компонентно-элементными и компонентно-функциональными моделями, что можно представить в виде кортежа:

$$CMS = \langle CSM, CEM, CFM \rangle,$$

где  $CMS$  – компонентная модель системы,  $CSM$  – компонентно-системная модель,  $CEM$  – компонентно-элементная модель,  $CFM$  – компонентно-функциональная модель.

Морфологические модели ЧМС отображают различного вида взаимосвязи (организационные, технологические, временные и др.), существующие между системами и компонентами.

$$MMS = \langle SOM, FOM, FTM \rangle,$$

где  $MMS$  – морфологическая модель системы,  $SOM$  – субъектно-организационная модель,  $FOM$  – функционально-организационная модель,  $FTM$  – функционально-временная модель.

Функционально-временная модель является динамической моделью, разрабатывается в виде алгоритма с выделением функций, выполняемых человеком, машиной, отдельными знаками выделяются функции контроля.

Эволюционные системы – это динамический граф, т.е. граф, вершинами которого являются имена одной и той же модели ЧМС (компонентной или морфологической), а дугами – временные моменты. Эволюционные модели строятся только в том случае, когда важно отметить возможные вариативности компонентных или морфологических структур ЧМС. Это характерно для производств, где состав специалистов в утреннюю, дневную и вечернюю смены отличается. Эволюционные модели можно разрабатывать также для чрезвычайных ситуаций.

$$EM_k(N) = \langle EM_k(\tau), R_\tau \rangle,$$

где  $EM_k(N)$  – эволюционная модель,  $EM_k(\tau) = \{EM_k(\tau_i)\}$  – множество конкретных возможных структур,  $R_\tau$  – интервал времени.

К специальным моделям объектов информатизации можно отнести: 2D и 3D графические модели объекта информатизации, модель угроз [3], модель информационных систем персональных данных (ИСПДн), модель рисков, модель сохранения информации (back up), модель выделенной (физически изолированной) ЛВС для объекта информатизации, модель локальных вычислительных сетей, модель применения межплатформенного программного обеспечения (middleware), модель системы архивного хранения данных, модель системы электропитания для повседневной и аварийной конфигурации объектов информатизации, модель системы IP-телефонии, модель системы видеонаблюдения и пр.

**Выводы:** Интегральные модели объектов автоматизации в составе «Формуляра по безопасности информации» позволяют инженеру по защите информации: системно представлять весь комплекс объектов информатизации организации; качественнее разрабатывать модели угроз для каждого объекта информатизации; точнее оценивать возникающие риски; эффективнее планировать построение комплексной системы защиты информации организации; обоснованно предлагать руководству организации программы выделения средств на создание систем защиты информации; быстрее и точнее находить решения по защите информации в критических ситуациях, при реинжиниринге бизнес-процессов организации, а также при аппаратно-программном изменении объектов информатизации.

## Список литературы

1. Белов С.В. Некоторые внешние факторы, влияющие на функционирование объекта информатизации / С.В.Белов, А.Н.Коряков, Ш.Ш.Иксанов // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 9. Ч. 1. – URL: <http://web.s nauka.ru/issues/2015/09/57904> (дата обращения: 18.07.2019).
2. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник / А.Н.Адаменко, А.Т.Ашеров, И.Л.Бердиников и др.; Под общ ред. А.И.Губинского и В.Г.Евграфова. – М.:Машиностроение, 1993. – 528 с.
3. Прохоров С.А. Методы и средства проектирования профилей интегрированных систем обеспечения комплексной безопасности предприятий научоемкого машиностроения / С.А.Прохоров, А.А.Федосеев, В.Ф.Денисов, А.В.Иващенко. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2009. – 199 с.

УДК 004.93'1

## МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ЗВУКОВЫХ ДЕФЕКТОВ В АУДИОСИГНАЛАХ

*Шарий Т.В.*, канд. техн. наук,  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*tspHERE@mail.ru*

**Введение.** В настоящее время немаловажную роль играют системы цифрового восстановления аудиоматериалов, накопленных в большом количестве в эпоху аудиокассет, VHS-видео и виниловых пластинок. При обработке качество звука может значительно снизиться для слушателя. В звуке могут появиться искажения, такие как: глитч-эффекты [1], скачки, плохое выравнивание, клиппирование, шум, растяжение / сжатие во времени [2]. Динамический диапазон закодированных треков также может варьироваться в значительных пределах, что в конечном итоге повлияет на качество итогового сигнала.

**Целью** работы является повышение качества автоматического выявления звуковых дефектов в аудиосигнале на основе информационной технологии, которая должна поддерживать процессы загрузки, визуализации, фильтрации, параметризации, аугментации звуковых сигналов, обучения классификаторов на основе вычисленных параметров, а также визуализации результатов обучения и распознавания.

**Метод выявления аудиодефектов.** Обнаружение глитча в сигнале сводится к оконному анализу сигнала и в каждом окне к задаче бинарной классификации «Есть дефект / нет дефекта». Общая схема работы системы автоматического обнаружения звуковых дефектов представляет собой классический двухуровневый вариант решения задачи машинного обучения вида «расчет признаков – обучение и распознавание на основе

признаков». Вектор признаков аудиосигнала включает 15 амплитудно-временных характеристик, 9 спектральных дескрипторов и 12 мел-частотных кепстральных коэффициентов [3]. Первая группа признаков вычисляется на основе уровнеграммы сигнала. Основными амплитудно-временными параметрами сигнала являются энергия и энтропия участка сигнала; частота перехода уровня сигнала через ноль; различные статистики вышеуказанных параметров (среднее, дисперсия, стандартное отклонение, медиана, мода и т.д.); специальные дескрипторы «сумма абсолютных изменений» и «индекс сложности» [4]. После параметризации звука применяются статистические модели машинного обучения. В качестве базовых классификаторов выбраны многослойный персепtron и деревья принятия решений. Персепtron содержит 3 слоя, включая 64 входных нейрона, 32 нейрона в скрытом слое и 1 нейрон в выходном слое. Скрытые слои имеют функцию активации ReLU, выходной слой – сигмоид. Т.к. многослойный персепtron используется для бинарной классификации, в качестве функции потерь применяется бинарная кросс-энтропия. Оптимизация значений весов при обучении нейронной сети производится по адаптивному алгоритму RMSProp [5].

Музыкальные файлы для экспериментов выкачивались из архива FreeMusicArchive (FMA) [6]. Совокупное время звучания наименьшего набора файлов составляет 66 часов 40 минут. Разведочный анализ данных показал сильную корреляцию части признаков между собой. Кроме того, данные в исходном виде вызвали трудности у классификаторов. Точность распознавания деревьев принятия решений составляла около 78–80 % на тестовой выборке, а многослойный персепtron даже на обучающей выборке не мог превысить базовый порог 50 %. С учетом этого, данные подверглись дополнительной предварительной обработке (нормализации к стандартному распределению и сокращению размерности признакового пространства до 26 признаков с помощью анализа главных компонент). После обработки входных данных дерево принятия решений показало точность при кросс-валидации 80%; ансамблирование деревьев позволило повысить точность распознавания глитчей до 85 %; многослойный персепtron на 60 эпохах показал, в среднем, качество 97 % на обучающей выборке и 91 % на валидационных выборках.

**Заключение.** Проведенные исследования показали перспективность подхода к автоматическому выявлению аудиодефектов в звуковых файлах на основе совместного использования амплитудно-временных, спектральных и кепстральных параметров сигнала. Анализ структуры дерева принятия решений показал, что наиболее значимыми для классификации параметрами являются второй, третий и шестой коэффициенты MFCC, а также амплитудно-временные дескрипторы «сумма абсолютных изменений» и «индекс сложности».

## **Список литературы**

1. Reiss J. Audio Issues in MIR Evaluation / J. Reiss, M. Sandler // Proceedings of the 5th International Conference on Music Information Retrieval ISMIR. – 2004. – P.28-33.
2. Godsill S. Digital audio restoration / S. Godsill, P. Rayner, O. Cappé // Applications of digital signal processing to audio and acoustics. – 2006. – P.133-194.
3. Tralie C. Early MFCC and HPCP Fusion for Robust Cover Song Identification / C.Tralie // Proceedings of the 18th ISMIR Conference, Suzhou, China. – 2017. – P.294-301.
4. Fulcher B.D. Highly Comparative Feature-based Time-series Classification / B. Fulcher, N. Jones // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – Vol.26. – 2014. – P.3026-3037.
5. Николенко С. Глубокое обучение [Текст] / С.Николенко, А.Кадурин, Е. Архангельская. – СПб.: Питер, 2018. – 480 с.
6. Defferrard M. FMA: A Dataset for Audio Analysis / M. Defferrard, K. Benzi, P. Vandergheynst, X. Bresson // Proceedings of the 18th ISMIR Conference, Suzhou, China. – 2017. – P.316-323.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### *Физика неравновесных процессов*

Александров В.Д., Александрова О.В., Покинтелица Е.А. Однофакторный дисперсионный анализ свойств теплоаккумулирующих материалов.....	5
Александров В.Д., Щебетовская Н.В., Муконина Е.В. Равновесная и неравновесно-взрывная кристаллизация кумарина .....	8
Баздырева Ю.А., Белоусов В.В., Антропова Л.В. Оценка влияния динамического фактора на процесс кристаллизации переохлажденного слитка $Fe_{80}Ba_{21}$ .....	10
Белоусов В.В., Коркишко В.В. Математическое моделирование процесса барботажа стали аргоном в промежуточном ковше .....	13
Бодряга В.Е., Толстых В.К. Применение условий Вольфе для решения задач оптимизации.....	16
Бондаренко В.И., Белоусов В.В., Недопекин Ф.В., Бодряга В.В., Березина Е.А. Сравнительный анализ программного обеспечения для задач тепломассопереноса при затвердевании слитков .....	19
Гольцов В.А., Гольцова Л.Ф., Котельва Р.В. Полиморфизм и водородная обработка.....	22
Дмитренко Н.А., Симоненко А.П. О влиянии гидродинамически активных добавок на диссипативные холодопотери и тепловой режим работы шахтных холодильных установок .....	25
Манилова Г.В., Авагян А.М. Вискозиметр из камертона .....	28
Недопекин Ф.В., Белоусов В.В., Бондаренко В.И., Бодряга В.В., Прохоренко С.Ф. Математический инструментарий при моделировании термоконцентрационной гравитационной конвекции в стальных расплавах .....	31
Стариков Г.П., Юрченко В.М., Мельник Т.Н., Подрухин А.А. Кинетика фильтрации и выделения метана на поверхность при прекращении ведения работ в угольных шахтах.....	33
Фоменко С.А., Симоненко А.П., Быковская Н.В. Повышение эффективности работы гидроструйных машин путем применения проточных генераторов приготовления рабочих жидкостей с гидродинамически-активными полимерами .....	36

### *Стандартизация и метрология*

Асланов П.В., Лысых Я.А., Бодня А.С., Лаппа О.П., Потапов В.В. Аппаратурное обеспечение гемодинамических исследований.....	40
Васильева А.В., Болонов Н.И., Лебедев В.Н., Пометун Е.Д. Обработка выходного сигнала термоанемометра постоянной температуры в реальном масштабе времени с использованием программного обеспечения NI LabView.....	43
Золотарева И.А., Симоненко А.П. О метрологическом обеспечении некоторых экспериментальных исследований эффекта Томса.....	45
Сальченко Е.С., Шкель А.С., Целик М.С. Методика определения качественного вида минералов в глубоководных условиях .....	48

<i>Силенко Е.М., Романчук С.М., Силенко С.Е., Готин Б.А.</i> Разработка измерителей для информационно-аналитической системы управления жизнеобеспечением городов и состоянием окружающей среды .....	50
<i>Юдакова Н.Д.</i> Экспериментальное исследование акселерометров АТ 1105 .....	52

## **Прикладная экология**

<i>Базарский О.В., Минаков Д.А., Феклин В.Н., Бирюкова И.П., Лужин Е.А.</i> Оптическое дистанционное зондирование земли в условиях низкой освещенности.....	55
<i>Бодряга В.В., Белоусов В.В., Недопёкин Ф.В., Бондаренко В.И.</i> Экологическая целесообразность снижения выбросов при переливах чугуна .....	58
<i>Бодряга В.В., Белоусов В.В., Недопёкин Ф.В., Бондаренко В.И.</i> Подавление бурого дыма при переливах чугуна азотно-водным аэрозолем .....	61
<i>Григорьев Е.С., Иванушкин М.К., Ложкин Н.П.</i> Энергоэффективное дорожное покрытие .....	64
<i>Зубкова Ю.Н., Бутюгин А.В.</i> Перспективы применения биоактивных препаратов для восстановления эродированных с/х земель и их плодородия.....	66
<i>Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Кучменко Т.А., Маслова Н.В.</i> Некоторые аспекты организации геомониторинга масштабных территорий (на примере авиационно-ракетного кластера, г. Воронеж) .....	69
<i>Лазарев И.С., Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Бакланов И.О.</i> Расчет и оценка загрязнения приаэродромных территорий топливом при работе двигателей самолетов в форсажном режиме.....	72
<i>Недопекин Ф.В., Несова А.В., Шеставин Н.С.</i> Мониторинг изменения площадей, затапливаемых карьеров с использованием Internet сервиса Google Earth Pro .....	74
<i>Собко А.Ю.</i> Экспериментальная установка для определения оптимальных условий очистки сточных вод с применением флокулянта.....	77
<i>Целик М.С.</i> Экологическая безопасность при транспорте углеводородов как основа мировой энергетической и экономической стабильности .....	80
<i>Черных В.Н., Винник Н.Н., Тычинина А.П., Пугачева И.Н., Молоканова Л.В.</i> Комплексный подход к решению вопросов повышения экологичности производства синтетических каучуков .....	83
<i>Шеставин Н.С., Недопекин Ф.В., Юрченко В.В.</i> Оценка экологических рисков геологического накопления диоксида углерода для подземных вод Донбасса .....	86

## **Теоретическая физика и нанотехнологии**

<i>Беличко Д.Р., Константинова Т.Е., Малецкий А.В., Волкова Г.К., Носолев И.К.</i> Роль оксида алюминия в процессе структурообразования керамики на основе нанопорошков диоксида циркония.....	89
<i>Бутько В.Г., Гусев А.А.</i> Запрещенная зона в углеродных нанотрубках малого диаметра.....	92
<i>Галинский М.К., Румянцев В.В., Федоров С.А.</i> Конденсация Бозе-Эйнштейна фотонов и поляритонов. Краткий обзор .....	95
<i>Запорожец В.Д., Вальков В.И., Сиваченко Т.С.</i> Особенности магнитных и магнитоструктурных превращений в сплавах системы $Mn_{1-x}Cr_xNiGe$ ( $0 < x < 0.25$ ) ....	98

<i>Ивахненко Н.Н., Бадекин М.Ю.</i> Фрактальный анализ неоднородностей тонких пленок, содержащих алюминий, полученных методом высокочастотного распыления .....	101
<i>Каманцев А.П., Кошикдъко Ю.С., Коледов В.В.</i> Магнитокалорический эффект в перспективных материалах в импульсных магнитных полях до 50 Т .....	103
<i>Константинова Т.Е., Лоладзе Л.В., Носолев И.К., Ткаченко А.М., Брюханова И.И., Головань Г.Н.</i> Ансамбли оксидных наночастиц. От синтеза нанопорошков к созданию керамики .....	106
<i>Лихтенштейн И.Я., Шемченко Е.И., Петренко А.Г.</i> Исследование морфологии поверхности наноструктурных плёнок нитрида углерода, легированных оксидом европия .....	107
<i>Лоладзе Л.В., Носолев И.К., Ткаченко А.М., Брюханова И.И., Головань Г.Н., Константинова Т.Е.</i> Влияние легирующих элементов на процесс спекания нанопорошков диоксида циркония при получении керамических материалов .....	110
<i>Малашенко В.В., Малашенко Т.И.</i> Концентрационная зависимость механических свойств двухкомпонентных сплавов в условиях лазерного облучения .....	113
<i>Михайлов В.М., Кравченко З.Ф., Легенький Ю.А.</i> Магнитные и диэлектрические свойства композиционного мультиферроика $(1 - x)\text{BiFeO}_3 \times \text{YMnO}_3$ .....	116
<i>Морозов Е.В., Коледов В.В., Кули-заде Т.А., Знаменская И.А.</i> Эластокалорический эффект в лентах сплава $\text{Ti}_2\text{NiCu}$ при воздействии периодической растягивающей силы с частотой до 50 Гц .....	118
<i>Пилипенко Е.А., Троицкая Е.П., Горбенко Е.Е.</i> Динамическая нестабильность сжатого кристаллического Хе .....	121
<i>Пойманов В.Д., Метлов Л.С.</i> Шестибитовые состояния и эффекты переключения в субмикронных пленках ЖИГ .....	124
<i>Поляков П.И.</i> Законы объемной упругости в деформационно-энергетическом влияния параметров на полиморфные и структурные формирования .....	128
<i>Садовников А.В., Грачев А.А., Бегинин Е.Н., Шараевский Ю.П., Никитов С.А.</i> Исследование управляемых электрическим полем нерегулярных магнонных микро- и наноструктур методом Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии .....	131
<i>Сирюк Ю.А., Безус А.В., Бондарь Е.Д., Кононенко Е.В.</i> Особенности доменной структуры в феррит-гранатовых пленках с разными редкоземельными подрешетками .....	129
<i>Сундеев Р.В., Шалимова А.В., Глазер А.М.</i> Влияние больших пластических деформаций на структурно-фазовые превращения в аморфных и кристаллических сплавах .....	135
<i>Тарасенко А.С., Сухорукова О.С.</i> Незеркальные эффекты первого порядка при нормальном падении квазиплоской волны на слоистую магнитную структуру (геометрия Фогта) .....	137
<i>Тарасенко Т.Н., Михайлов В.И., Каменев В.И., Кравченко З.Ф., Бурховецкий В.В., Изотов А.И., Янушкевич К.И., Демиденко О.Ф., Аплеснин С.С.</i> Зависимость структурных, магнитных и диэлектрических свойств от присутствия ионов марганца в мультиферроике $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ . ( $x = 0.05$ и $0.15$ ) .....	139
<i>Тарасов Д.П., Ойченко Ю.О.</i> Низкочастотное внутреннее трение наногранулированных композиционных материалов $\text{CO}_x(\text{PZT})_{100-x}$ .....	142

<i>Токий Н.В., Гребенюк Н.А., Токий В.В.</i> Мостиковая гидратация поверхности (111) пластины кубического диоксида циркония методом DFT .....	144
<i>Токий Н.В., Токий В.В., Гребенюк Н.А.</i> Гидроксилирование в 001-пластины диоксида титана методом DFT .....	147
<i>Химченко Д.Г., Паладян Ю.А., Гуменник К.В., Румянцев В.В.</i> Групповая скорость распространения электромагнитных возбуждений в неидеальной цепочке микропор .....	149
<i>Храмогин А.А., Петренко А.Г.</i> О возможности изучения проблемы внеземной жизни и парадокса Ферми .....	152
<i>Чайка Э.В., Барбашов В.И.</i> Особенности ионной проводимости керамики ScSZr, обусловленные структурой и примесным составом .....	155
<i>Шелест В.В., Христов А.В.</i> Влияние комплексного ангармонизма на устойчивость фазового состояния конденсированной среды .....	158
<i>Шелест В.В., Червинский Д.А.</i> Применение внешних дифференциальных форм к системам с переменным числом частиц .....	161

### ***Радиофизика и инфокоммуникационные технологии***

<i>Бабичева М.В., Данилов В.В., Юрченко А.С.</i> Нейронные сети в системах для научных исследований .....	164
<i>Данилов В.В., Тимченко В.И., Ступак В.А., Рушечников Я.И.</i> Акустическая спектроскопия дефектов при ударном воздействии .....	166
<i>Жинкина А.С., Яновский А.В.</i> Использование автоматизированного разведывательного приемника для обнаружения утечек информации посредством радиоканала .....	169
<i>Рушечников Я.И., Данилов В.В.</i> Исследование каналов побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) с использованием программно определяемой радиосистемы (SDR) .....	171
<i>Рушечников Я.И., Яновский А.В., Данилов В.В.</i> Электромагнитные излучения элементов и устройств ЭВМ .....	173
<i>Третьяков И.А.</i> Сравнительный анализ методов параллельной сегментации параллельных экспериментальных кривых .....	176
<i>Урляков А.С.</i> К проблеме использования регенеративной энергии .....	179
<i>Хлуденев А.В.</i> Анализ устойчивости порта Ethernet к электромагнитным помехам .....	181
<i>Шалаев А.В., Третьяков И.А.</i> Спектральное уплотнение–разуплотнение потоков данных автоматизированных систем .....	184
<i>Шелехова О.Г.</i> Несимметричные режимы питающего напряжения при эксплуатации асинхронного двигателя .....	187
<i>Яновский А.В., Жинкина А.С.</i> Применение ультразвукового излучения для передачи информации .....	190
<i>Яновский А.В., Жинкина А.С., Гмыря В.А.</i> Использование гармонических составляющих сигнала в системах противодействия утечкам информации посредством радиоканала .....	193

## *Дидактика физики*

<i>Барбашова М.В.</i> Лабораторный практикум по дисциплине «физика» для студентов автомобильно-дорожного профиля .....	196
<i>Бешеевли Б.И., Пустынникова И.Н., Дёмина О.Б.</i> Системный подход к лекционным демонстрациям .....	199
<i>Бирюкова И.П., Панюшкин Н.Н.</i> Многоуровневая организация комплексных лабораторных работ по физике .....	202
<i>Григорьев Е.С., Фёклин В.Н.</i> Особенности преподавания кинематики курсантам .....	205
<i>Корнеева М.А., Головчан А.В.</i> Современные подходы к активизации познавательной деятельности учащихся при изучении физики .....	206
<i>Пустынникова И.Н., Юдина В.С.</i> Средства разработки комиксов и анимации для уроков физики .....	209
<i>Толкачёва А.С.</i> Традиционный и развивающий подход к домашнему заданию .....	212
<i>Чебанова В.А., Бондарь Е.Д., Безус А.В.</i> Использование учебной анимации на уроках физики, как метод повышения мотивации учащихся .....	215

## *Компьютерные технологии*

<i>Бондаренко В.И., Бондаренко В.В.</i> Прототип автоматизированной онлайн-системы расчета денежных выплат на производственном предприятии .....	218
<i>Володин Н.А., Ермоленко Т.В., Семенюк В.В.</i> И исследование эффективности применения нейронных сетей для распознавания эмоций человека по его речи .....	221
<i>Дорохина Г.В., Вовнянко А.С., Коваленко И.М., Гришаев К.А.</i> Проект подсистемы регистрации и выдачи дубликатов в программном комплексе «Государственный реестр сведений о документах об образовании» .....	224
<i>Ермоленко Т.В., Котенко В.Н., Бакулин А.А.</i> Применение генетических алгоритмов для задачи автоматического составления расписания в вузе .....	226
<i>Ермоленко Т.В., Куделя О.Г.</i> Классификация единичного рукописного символа .....	229
<i>Котенко В.Н.</i> Применение инновационных технологий для повышения эффективности мониторинга процесса трудоустройства выпускников кафедры компьютерных технологий .....	232
<i>Котенко В.Н.</i> Автоматизированная система учета и анализа информации профбюро факультета .....	235
<i>Котенко Ю.В., Митяева В.В.</i> Анализатор калорийности продуктов с возможностью подбора рациона питания .....	238
<i>Котенко Ю.В., Рюмишина О.С.</i> Сайт-портфолио как метод продвижения кандидатуры соискателя на рынке труда .....	240
<i>Кроль А.Н., Романова В.В.</i> Специфика организации рабочего места дежурно-диспетчерского персонала экстренной оперативной службы "СИСТЕМА - 112" .....	242
<i>Мартыненко А.М., Антоник А.С., Кущенко В.Р.</i> Анализ технических и программных средств системы информационной безопасности сети университета .....	244
<i>Мартыненко А.М., Кулик А.С.</i> Разработка аппаратной части квадрокоптера на базе Arduino .....	246
<i>Мезников А.В., Ломонос Г.Т.</i> Имитационное моделирование при разработке программного обеспечения мониторинга роботизированной системы .....	249

<i>Никитин К.А.</i> Анализ программного обеспечения SWAN SOFT CNC в работе современной промышленности .....	252
<i>Ниценко А.В., Шелепов В.Ю.</i> Об автоматическом построении дерева синтаксического подчинения .....	253
<i>Пигуз В.А., Ивашико К.С., Изосимова С.А.</i> Безмединентозный компьютерный мониторинг ПФС личности – проблемы и перспективы .....	256
<i>Пикалёв Я.С., Ермоленко Т.В.</i> Применение аугментации для задачи автоматического распознавания речи.....	259
<i>Савенков И.Н.</i> Обзор подходов к обнаружению номерного знака автомобиля на изображении .....	262
<i>Сигиденко В.Г.</i> Расширение поисковых запросов с учетом пользовательских данных .....	265
<i>Трушина Е.А.</i> Разработка интегральной модели человеко-машинных систем объектов информатизации организации в целях создания формулляра по безопасности информации .....	266
<i>Шарий Т.В.</i> Метод автоматического выявления звуковых дефектов в аудиосигналах .....	269

*НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ*

**ДОНЕЦКИЕ ЧТЕНИЯ 2019:  
ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ИННОВАЦИИ,  
КУЛЬТУРА И ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ**

Материалы  
IV Международной научной конференции  
31 октября 2019 г.,  
г. Донецк

**ТОМ 1**  
**Физико-математические и технические науки**  
**Часть 2**

под общей редакцией проф. *С.В. Беспаловой*

Ответственный за выпуск доц. *П.В. Асланов*

Дизайн обложки *Е.Г. Грудева*  
Технический редактор *М.В. Фоменко*  
Компьютерная верстка *В.Г. Медведева*

---

*Адрес оргкомитета:*  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»  
ул. Университетская, 24, г. Донецк, 83001, ДНР  
e-mail: *science.prorrector@donnu.ru*

---

Подписано в печать 15.10.2019 г.  
Формат 60×84/16. Бумага офисная.  
Печать – цифровая. Усл.-печ. л. 16,21.  
Тираж 300 экз. Заказ № 19окт124/16.  
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.