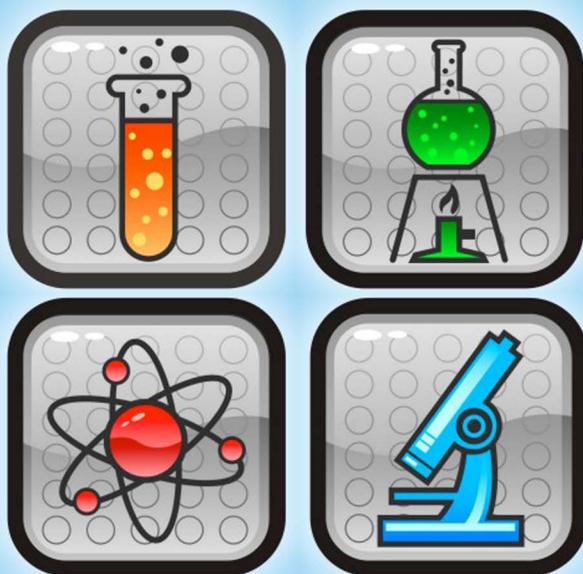


**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**



# **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**Сборник трудов**

**II Всероссийской научно-практической конференции  
молодых ученых, аспирантов и студентов**

**4-5 июня 2015 года**

**Юрга**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Сборник трудов  
II Всероссийской научно-практической конференции  
молодых ученых, аспирантов и студентов

**4–5 июня 2015 г.**

Томск 2015

УДК 50:51(063)  
ББК 20:21.1л0  
С56

**Современное состояние и проблемы естественных наук** : сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Юрга, 4–5 июня, 2015 г.) / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 313 с.

ISBN 978-5-4387-0572-7

Сборник содержит материалы II Всероссийской научно-практической конференции по вопросам построения, исследования, оптимизации и численной реализации математических моделей технологических процессов в технических и эколого-экономических системах, проблемам развития исследовательских способностей молодёжи в процессе непрерывной математической подготовки.

Материалы сборника представляют интерес для преподавателей, научных работников, студентов, магистрантов и аспирантов в сфере научно-практических исследований в естествознании, технике и инновационных технологиях.

**УДК 50:51(063)**  
**ББК 20:21.1л0**

*Ответственный редактор*  
С.Б. Сапожков

*Редакционная коллегия*  
О.Б. Березовская  
Л.Б. Гиль  
О.Г. Князева  
Э.Г. Соболева  
Е.П. Теслева  
Е.Г. Фисоченко

ISBN 978-5-4387-0572-7

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский  
технологический институт (филиал), 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

### **СЕКЦИЯ 1: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯРОНОВ В АЗИДЕ СЕРЕБРА**

*Балыков Д.В., Журавлев П.Г., Кригер В.Г.* ..... 9

#### **РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ ЗУБЬЕВ ПЛОСКОКОЛЁСНЫХ ПЕРЕДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Бигалиева А.З., Аймагамбетова Р.Ж.* ..... 12

#### **USE OF SILVER NANOPARTICLES IN TREATMENT OF SOCIALLY SIGNIFICANT DISEASES**

*Grigoriev M.G., Babich L.N.* ..... 14

#### **ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ФАЗ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛОСЧАТОГО ПОКРЫТИИ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 И БРОНЗЫ ПГ-19М-01, ПОЛУЧЕННОГО ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ**

*Девойно О.Г., Луцко Н.И., Лапковский А.С.* ..... 16

#### **СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА**

*Дамтилон Б.В., Толстокулаков А.М.* ..... 18

#### **РАСЧЕТ ПОДВИЖНОСТИ ПОЛЯРОНОВ АЗИДА СЕРЕБРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

*Журавлев П.Г., Балыков Д.В., Кригер В.Г.* ..... 23

#### **КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ С ВОЕННО-ПАТРИОТИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ**

*Гнедаш Д.В.* ..... 25

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ЭЛЕКТРОБЫТОВЫХ ПРИБОРОВ**

*Гайдамак М.А.* ..... 27

#### **АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ НАНОКЛАСТЕРОВ ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ В ЯЧЕЙКАХ ПАМЯТИ, ОСНОВАННОЙ НА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ**

*Замулин И.С., Гафнер С.Л.* ..... 29

#### **РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ИНИЦИИРОВАНИЯ ВЗРЫВНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ КОМПОЗИТОВ ГЕКСОГЕН - НИКЕЛЬ ИМПУЛЬСОМ ЛАЗЕРА**

*Иващенко Г.Э., Одинцова О.В.* ..... 33

#### **ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ЗОЛОТА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАВЛЕНИЯ И ВНУТРЕНнюю СТРУКТУРУ НАНОКЛАСТЕРОВ CuAu**

*Комзولاков А.В., Байдышев В.С.* ..... 36

#### **СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В КОМПОЗИТЕ ТЭН-MGO**

*Макарова В.А.* ..... 39

#### **ИЗГИБ ДИСЛОКАЦИОННОГО СЕГМЕНТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ ПОСЛЕКАСКАДНЫХ ВОЛН**

*Маркидонов А.В.* ..... 41

#### **ВЛИЯНИЕ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА**

*НгуенСуан Тьук, Панин С.В., Корниенко Л.А.* ..... 44

#### **ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИКОВ И НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ**

*Никитин А.П., Звекон А.А., Зыков И.Ю.* ..... 48

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ СПЛАВОВ ПРИ СВЕРХБЫСТРОЙ ДЕФОРМАЦИИ НАНОВОЛОКОН</b> <i>Яшин О.В., Обидина О.В., Старостенков М.Д.</i> .....	53
<b>ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РОСТА КЛАСТЕРОВ МЕДИ ПРИ СИНТЕЗЕ МЕТОДОМ КОНДЕНСАЦИИ</b> <i>Чепкасов И.В.</i> .....	59
<b>МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРОЕНИЕ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ</b> <i>Чепкасов И.В.</i> .....	62
<b>ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ИНТЕРКАЛАТНОМ СОЕДИНЕНИИ ДИХАЛЬКОГЕНИДА ЦИРКОНИЯ</b> <i>Ягафарова З.А., Нигматуллина Г.Р.</i> .....	64
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА</b> <i>Абдрасулов К.А., Курманбай А.</i> .....	67
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ</b> <i>Губанова А.Р., Теслева Е.П.</i> .....	69
<b>ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА ПИЩИ ИЗ СВЧ ПЕЧИ</b> <i>Курманбай А.</i> .....	71
<b>ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА МЕТОДОМ МОНОТОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ</b> <i>Игишева А.Л., Соболева Э.Г.</i> .....	74
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХЛОРАТА НАТРИЯ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 298-520 К</b> <i>Литвиненко В.В., Соболева Э.Г.</i> .....	78
<b>ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА</b> <i>Одинамадов Ф.И., Курманбай А.К.</i> .....	80
<b>РАДИАЦИЯ И РАДИОАКТИВНОСТЬ</b> <i>Садыков А.А., Файзуллоев А.Э.</i> .....	84
<b>АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ</b> <i>Соболева Э.Г., Нозирзода Ш.С.</i> .....	87
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ</b> <i>Теслева Е.П., Соловян А.В.</i> .....	89
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ Г. ЮРГИ</b> <i>Торосян В.Ф., Шмидт Ф.В., Танчев М.О.</i> .....	91
<b>ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГЕ</b> <i>Степанов А.П., Сотокина Ю.В., Буракова Е.М.</i> .....	93
<b>ВЗАИМОСВЯЗЬ СОЛНЕЧНОЙ И ПОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ</b> <i>Хорошун Г.В., Там-Оглы Х.А., Теслева Е.П.</i> .....	97
<b>НАДЕЖНОСТЬ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ</b> <i>Симонова А.В.</i> .....	98
<b>МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГАЗОВ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ</b> <i>Степанов А.П., Сотокина Ю.В., Буракова Е.М.</i> .....	103

## **СЕКЦИЯ 2: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

<b>ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СВАРОЧНОГО АЭРОЗОЛЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ</b> <i>Александрова Ю.С., Деменкова Л.Г.</i> .....	106
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОВЫХ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК И ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЗНЫХ РАЙОНАХ ГОРОДА КИСЕЛЕВСКА</b> <i>Апасова Т.Г.</i> .....	111
<b>ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ</b> <i>Габитов Э.К., Деменкова Л.Г.</i> .....	114
<b>ЭКОЛОГИЯ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФОРМОВОЧНЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ</b> <i>Григор А.С.</i> .....	116
<b>ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ШВА В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</b> <i>Гусаров Д.Е., Деменкова Л.Г.</i> .....	120
<b>ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТАМ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ</b> <i>Дудихин Д.В., Бабакова Е.В.</i> .....	124
<b>БЕЛАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ</b> <i>Дудихин Д.В., Платонов М.А.</i> .....	126
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХРОМА, ОКСИДА МОЛИБДЕНА (VI) И СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ ДО И ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ПРИ T=673K</b> <i>Елонова В.А.</i> .....	128
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ХРОМА</b> <i>Елонова В.А., Яковлева Л.А.</i> .....	130
<b>ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ И ОПЫТЫ С НЕЙ</b> <i>Ёрматов А.А., Деменкова Л.Г.</i> .....	132
<b>ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЁНОК Ga ПОСЛЕ СВЕТОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ</b> <i>Кривошекова Е.А., Журавлева С.В.</i> .....	135
<b>ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЁНОК Ga</b> <i>Мишкин А.В., Журавлева С.В.</i> .....	137
<b>ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ CO - MoO<sub>3</sub></b> <i>Оюн Т.С., Журавлева С.В.</i> .....	138
<b>ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК Ga</b> <i>Черкасова О.В., Журавлева С.В.</i> .....	141
<b>ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЕВ MN И MOO<sub>3</sub> В СИСТЕМАХ MN-MOO<sub>3</sub>, MOO<sub>3</sub>-MN И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДО И ПОСЛЕ ТЕПЛООВОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ T=673 K</b> <i>Залунина А.А., Калабухова Е.И.</i> .....	143
<b>ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗРЫВНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ТЕТРАНИТРОПЕНТАЭРИТРИТА С НАНОЧАСТИЦАМИ АЛЮМИНИЯ</b> <i>Зыков И.Ю., Ананьева М.В., Одинцова О.В.</i> .....	146
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НАНОПЛЕНОК MN, MOO<sub>3</sub> ДО И ПОСЛЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ T=573 K</b> <i>Калимуллова Н.И., Калабухова Е.И.</i> .....	151

<b>ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОПЛЕНОК MN ПРИ T = 473 К, 673 К, 873 К</b> <i>Калабухова Е.И.</i> .....	153
<b>ВЛИЯНИЕ НИКЕЛЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДА МОЛИБДЕНА (VI) В НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМАХ NI-MO<sub>3</sub> ДО И ПОСЛЕ ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ 573 К</b> <i>Конюкова Д.А., Бин С.В.</i> .....	156
<b>ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК НИКЕЛЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 623 К</b> <i>Котова А.Н., Бин С.В.</i> .....	159
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА</b> <i>Мартемьянова И.В.</i> .....	162
<b>ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ПОДЖИГ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ТЕРМИТОВ</b> <i>Кошкарёва А.Н., Дурьманова В.Ю., Кушнир М.Е.</i> .....	164
<b>ПОЛУЧЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СОРБЦИОННЫХ ЗАГРУЗОК И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ</b> <i>Мосолков А.Ю., Мартемьянова И.В., Воронова О.А.</i> .....	166
<b>РОЛЬ ХИМИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ</b> <i>Нозирзода Ш.С., Деменкова Л.Г.</i> .....	170
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В ФЕНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ VA ГРУППЫ</b> <i>Полецук О.Х., Яркова А.Г., Шпак М.Ю.</i> .....	173
<b>ЛИТИЙ-ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ</b> <i>Садыков А.А., Джаборов Ш.Р., Деменкова Л.Г.</i> .....	176
<b>ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</b> <i>Платонов М.А., Серикбол А.</i> .....	181
<b>ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОПЛЕНОК MN, MOO<sub>3</sub> В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ПРИ T=773 К</b> <i>Старкина О.А., Калабухова Е.И.</i> .....	184
<b>ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ОКИСЛЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК ВИСМУТА</b> <i>Суровая В.Э., Бугерко Л.Н., Суровой Э.П.</i> .....	187
<b>АНОДНОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ОКРАШИВАНИЕМ</b> <i>Филипенко В.В., Деменкова Л.Г.</i> .....	191
<b>ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ</b> <i>Чакилева Т.А.</i> .....	195
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ МАРГАНЦА, ЦИНКА, КАДМИЯ И МЕДИ В СИСТЕМЕ «СНЕГ- ПОЧВА»</b> <i>Торосян В.Ф., Торосян Е.С., Губанова А.Р., Антюфеев В.К.</i> .....	198
<b>ХИМИЧЕСКИЕ ПОРАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ В ЦЕХЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КАМЕННОЙ ВАТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ «ЗАВОД ТЕХНОНИКОЛЬ – СИБИРЬ</b> <i>Торосян В.Ф., Дятлов Д.Н.</i> .....	201

<b>МЕХАНИЗМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ</b> <i>Сапожков А.С., Сапожков С.Б.</i> .....	204
<b>ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХРОМА, МАРГАНЦА И СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ ДО И ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ</b> <i>Елонова В.А., Паталахина О.О.</i> .....	206
 <b>СЕКЦИЯ 3: ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МАТЕМАТИКИ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК</b>	
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ</b> <i>Балашов А.В., Верховская А.А., Потапов И.С.</i> .....	210
<b>СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЗАДАНИЙ ПО ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ WOLFRAM MATHEMATICA</b> <i>Гнедаш Е.В.</i> .....	212
<b>АНАЛИЗ СТОЙКОСТИ ПРАКТИЧЕСКИХ СХЕМ КРК</b> <i>Эттель В.А., Кайралапова А.Н.</i> .....	217
<b>ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ</b> <i>Красикова В.А.</i> .....	221
<b>ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАЧЕСТВЕ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВАНИИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА</b> <i>Ласуков А.А., Лагунов С.Е.</i> .....	223
<b>ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАЗОВ МЕХАНИЗМА РЕВЕРСА ГЕОХОДА</b> <i>Михеев Д.А.</i> .....	226
<b>ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАВОДНЕНИЙ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ</b> <i>Наливкина А.В.</i> .....	230
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ФИНАНСОВЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ОПЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ</b> <i>Фатьянова М.Э., Семенов М.Е.</i> .....	232
<b>ЗНАЧЕНИЕ МАТЕМАТИКИ В СПОРТЕ</b> <i>Терентьев Е.С., Семеренко И.А.</i> .....	236
<b>СПОСОБ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ОТВЕРСТИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ОТВЕТСТВЕННЫХ ФЛАНЦЕВ ГЕОХОДА</b> <i>Вальтер А.В., Березовский А.Н., Лагунов С.Е.</i> .....	238
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ВЕРХОВЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОПОЖАРНОГО РАЗРЫВА</b> <i>Фрянова К.О., Гербель Д.П.</i> .....	242
<b>ВЫПУСКНИКИ ШКОЛ ГОРОДА О ЕГЭ ПО МАТЕМАТИКЕ</b> <i>Хорошун Г.В., Там-Оглы Х.А.</i> .....	244
<b>АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ «С ПОТЕРЯМИ» JPEG</b> <i>Эттель В.А., Разихова М.К.</i> .....	246
<b>МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА</b> <i>Ягафарова З.А., Нигматуллина Г.Р., Рахматуллина Л.Р.</i> .....	251

---

---

<b>ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ</b> <i>Ёрматов А.А., Журавлев В.А.</i> .....	254
<b>МАТЕМАТИКА И ТАНЕЦ</b> <i>Алибова А.А.</i> .....	260
<b>ЗАВИСИМОСТЬ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА ОТ МАТЕМАТИКИ</b> <i>Аржанникова Н.В.</i> .....	261
<b>КОМПЛЕКСНЫЕ ЧИСЛА В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА</b> <i>Бомуллов Ш.З., Журавлев В.А.</i> .....	264
<b>МАТЕМАТИКА В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА</b> <i>Бомуллов Д.К., Журавлев В.А.</i> .....	266
<b>МАТЕМАТИКА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНЖЕНЕРА</b> <i>Джаборов Ш.Р., Комилов Х.Н.</i> .....	269
<b>РАЗМЫШЛЕНИЯ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МЫШЛЕНИИ</b> <i>Джамансариев Н.Б., Соколова С.В.</i> .....	273
<b>ПИОНЕРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ В СИБИРИ</b> <i>Катюков Н.Л.</i> .....	275
<b>ОПТИЧЕСКИЕ ИЛЛЮЗИИ</b> <i>Курманбай А.К., Одинамадов Ф.И., Соколова С.В.</i> .....	276
<b>ДИРЕКТОР ПЕРВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА СИБИРИ - МАТЕМАТИК</b> <i>Мазамбекова И.Т.</i> .....	281
<b>ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИКИ В ГЕОЛОГИИ</b> <i>Нозирзода Ш.С., Хамидова Ф.А.</i> .....	282
<b>КУРЕНИЕ И ПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ</b> <i>Садыков А.А., Файзуллоев А.Э.</i> .....	285
<b>МАТЕМАТИКА В ЖИЗНИ ОБЩЕСТВА</b> <i>Саттыбаева К.С., Журавлев В.А.</i> .....	287
<b>ЗАГАДКА КУБИКА РУБИКА</b> <i>Стаин Р.В., Соколова С.В.</i> .....	290
<b>ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ Г.ЮРГА ПРИ СОВРЕМЕННОЙ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ</b> <i>Стриженко К.В., Соколова С.В.</i> .....	292
<b>МАТЕМАТИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДОБЫЧНОГО УЧАСТКА</b> <i>Филипенко В.В., Гудим Н.А., Гиль Л.Б.</i> .....	294
<b>РОЛЬ МАТЕМАТИКИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b> <i>Цыпленков Р.А., Карпов А.В.</i> .....	296
<b>ОПРЕДЕЛЁННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ С УЧЁТОМ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ НЕОПРЕДЕЛЁННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ В <math>d</math>-АНАЛИЗЕ</b> <i>Чуриков В.А.</i> .....	299
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗБОЙКОВОГО ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА В MATLAB</b> <i>Новосельцева М.В., Массон И.А.</i> .....	302
<b>РАЗВИТИЕ ЛИЧНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫМ И ТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ</b> <i>Соколова И.Ю.</i> .....	305
<b>АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ</b> .....	312

## СЕКЦИЯ 1: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯРОНОВ В АЗИДЕ СЕРЕБРА

*Д.В. Балыков, аспирант, П.Г. Журавлев, аспирант, В.Г. Кригер, д-р ф.-м.н., проф.*

*ФГБОУ ВПО «Кемеровский Государственный Университет», г. Кемерово*

*650043, г. Кемерово ул. Красная 6, тел. (3842)-58-06-05,*

*E-mail: kriger@kemsu.ru*

В работе проведен анализ электронно-дырочных процессов в азиде серебра с учетом поляризации кристаллической решетки носителями заряда. Определены энергетические и динамические параметры поляронов, оценены эффективные массы электронов и дырок, определены константы скоростей и сечения захвата электронов и дырок на заряженных и нейтральных дефектах кристаллической решетки в азиде серебра.

В ходе исследования кинетики и механизмов собственно-дефектной модели твердофазных цепных реакций в энергетических материалах, разработанной в работах нашей лаборатории [1], появилась необходимость определить энергетические и динамические параметры поляронов.

Энергетические и динамические характеристики полярона определяются четырьмя параметрами:  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_\infty$ ,  $w_0$ ,  $m_p$ , где  $w_0$  - предельная частота поляризационных фононов,  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_\infty$  - статическая и динамическая диэлектрические проницаемости,  $m_p$  - эффективная масса зонной дырки. В работах [3, 4] экспериментально определены величины  $\varepsilon_0=9,4$ ;  $\varepsilon_\infty=4,1$ ;  $w_0=4 \cdot 10^{13} \text{ c}^{-1}$  для азиды серебра. В работе [2] получены выражения для константы электрон-фононного взаимодействия  $\alpha$ , собственной энергии  $H_0$ , радиуса  $R_p$  и эффективной массы полярона  $M$  как функции эффективной массы зонной дырки  $m_p$ :

$$\alpha = 3,164 \left( \frac{m_p}{m_0} \right)^{1/2}; \quad M/m_0 = 2,18 \left( \frac{m_p}{m_0} \right)^3; \quad (1a, б)$$

$$H_0 = 0,0278 \left( \frac{m_p}{m_0} \right); \quad R_p = 42,45 \left( \frac{m_p}{m_0} \right)^{-1}; \quad (2a, б)$$

Остается неизвестный параметр – эффективная масса зонной дырки  $m_p$ . Для ее определения рассмотрим, следуя [5], вопрос о локализации полярона в анионной подрешетке на дефекте с эффективным зарядом  $Z$  ( $Z>0$  для притягивающего центра). Энергия тепловой диссоциации такого центра равна разности энергий свободного и локализованного поляронов:

$$W = \frac{A}{\varepsilon_0^2} \left( Z^2 + \frac{2Z\varepsilon_0 c}{3} \right) \cdot \frac{m_p}{m_0} - \frac{3}{2} \hbar w_0, \quad (3)$$

где  $A = \frac{m_0 e^4}{2\hbar^2} = 13,62 \text{ эВ}$ ,  $c = \frac{1}{\varepsilon_\infty} - \frac{1}{\varepsilon_0}$ .

В кристаллах, для которых, как для азиды серебра:  $\varepsilon_0/\varepsilon_\infty \geq 3/2$ , выгодна локализация двух поляронов в поле одного дефекта. Энергия тепловой диссоциации таких центров:

$$W' = \frac{A}{\varepsilon_0} \left[ \frac{1}{\varepsilon_\infty} \left( \frac{2Z}{3} - \frac{4}{9} \right) + \frac{1}{\varepsilon_0} \left( \frac{2}{3} + Z^2 - 2Z \right) \right] \cdot \frac{m_p}{m_0} - \frac{3}{2} \hbar w_0. \quad (4)$$

Подставив в (3, 4) экспериментальные значения  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_\infty$ ,  $w_0$  для  $\text{AgN}_3$ , получим энергии локализации одного и двух поляронов на дефектах с различным зарядом в зависимости от эффективной массы носителя заряда.

$$\begin{array}{ll} -e & W_p = 0,287 \frac{m_p}{m_0} (\text{эВ}); & W_p' = 0,027 \frac{m_p}{m_0} (\text{эВ}); \\ 0 & W < 0; & W' \leq 0; \\ e & W_n = 0,287 \frac{m_n}{m_0} (\text{эВ}); & W_n' \leq 0. \end{array} \quad (5)$$

Из приведенных выше данных можно сделать вывод – в азиде серебра энергетически выгодной является локализация как одного, так и двух дырочных поляронов на дефектах с отрицательным зарядом ( $V_k^0$ ,  $V_k^+$  – центры). Также возможна локализация электронных поляронов на дефектах с положительным зарядом (серебряные центры  $\text{Ag}^0$ ).

Образование биполярона, т.е. локализация двух  $N_3^0$  в собственной потенциальной яме энергетически невыгодна, поэтому бимолекулярная реакция не локализованных на дефекте поляронов с образованием молекулярного азота менее вероятна.

Используя полученные выше выражения для энергии локализации, можно оценить эффективную массу зонной дырки.

Из результатов анализа ЭДП следует, что донорами и акцепторами электронов в  $\text{AgN}_3$  являются собственные дефекты решетки. Преобладающим типом собственных дефектов в азиде серебра должны быть катионные вакансии, что следует из разупорядоченности  $\text{AgN}_3$  по Френкелю, р-типа проводимости и образования анионных вакансий в процессе разложения. Известно [6], что в скомпенсированном полупроводнике уровень Ферми стабилизируется вблизи энергетического уровня дефектов с наибольшей концентрацией, поэтому эффективную массу дырки можно определить, приравняв энергию локализации дырок на  $V_k^0$  центрах положению уровня Ферми относительно потолка ВЗ ( $F=0,9\pm 0,05$  эВ [7]):

$$W = F - H_0; \quad m_p / m_0 = 2,8 \div 3. \quad (6)$$

Расчитанные с  $m_p=3m_0$  положения энергетических уровней дефектов составили:  $W_p \approx 0,8-0,9$  эВ,  $W_p' \approx 0,1$  эВ.

Расчитанные с  $m_p=3m_0$  параметры дырочных поляронов:  $\alpha$ ,  $R_p$ ,  $H_0$ ,  $M$  и эффективная плотность состояний в поляронной зоне  $Q_p$  приведены в таблице 1.

$$Q_p = 2 \left( \frac{2\pi M k T}{h^2} \right)^{3/2} \cdot \left( 1 - \exp\left( -\frac{\hbar w_0}{k T} \right) \right)^3. \quad (7)$$

Для расчета кинетики разложения АТМ при внешних воздействиях необходимо знать величины констант скоростей стадий электронно-дырочных переходов.

Проведём расчёт констант скоростей стадий электронно-дырочных переходов между локальными уровнями и соответствующими зонами. Из принципа детального равновесия следует, что:

$$k_i = \gamma_i N_{e,v} \exp\left( -\frac{E_i}{k T} \right), \quad (8)$$

где  $k_i$ ,  $\gamma_i$  – константы скоростей термического возбуждения и локализации носителя на локальном центре,  $E_i$  – положение уровня в запрещенной зоне, отсчитанные от потолка валентной зоны для дырки и от дна зоны проводимости для электронов,  $N_{e,v}$  – эффективные плотности состояний вблизи краёв соответствующих зон.

Энергетическое положение уровней дефектов в запрещенной зоне и плотности состояний в поляронных зонах были оценены выше, поэтому для расчета констант электронно-дырочных переходов необходимо вычислить недостающие константы (сечения) захвата электронов и дырок для каждого типа центров.

Расчет существенно упрощается, если лимитирующей стадией захвата является миграция электронов и дырок к дефектам, а не их переход в связанное состояние. Для АТМ это приближение оправдано ввиду малой подвижности электронов и дырок. В этом случае выражение для константы захвата имеет вид [5]:

$$\gamma_{i,n,p} = \frac{4\pi D_{n,p}}{\int_0^{r_0} \exp\left( -\frac{eV(r)}{k T} \right) dr}, \quad (9)$$

где  $V(r)$  потенциал взаимодействия электрона (дырки) с дефектом,  $r_0$  - радиус сферы захвата.

В азиде серебра носители взаимодействуют с заряженными ( $\text{Ag}^+$ ,  $V_k^-$ ) и нейтральными ( $\text{Ag}^0$ ,  $V_k^0$ ) центрами.

В случае захвата на заряженных центрах потенциал имеет обычную, кулоновскую форму

$V(r) = -\frac{e}{\epsilon r}$  и из (8) при условии:  $\exp\left( -\frac{e^2}{\epsilon r_0 k T} \right) \ll 1$  получим:

$$\gamma_{зи} = \frac{4\pi D_{n,p} \cdot e^2}{\epsilon k T} = \frac{4\pi e}{\epsilon} \mu_{n,p}, \quad (10)$$

где  $\mu_{n,p}$  подвижность электрона или дырки.

В случае захвата электрона (дырки) нейтральным центром, приближающийся носитель заряда своим полем поляризует локальный центр, у которого при этом возникает индуцированный дипольный момент, и проблема, таким образом, сводится к расчету поляризуемости центров захвата.

Поляризуемость центров типа  $Ag^0$ ,  $V_k^0$  (полярон, локализованный на дефекте) была рассчитана Перлиным на основе теории F-центров Пекара [5]. Поляризуемость этих центров в азиде серебра была рассчитана в работе [9]

Константа скорости локализации электронов и дырок на нейтральных центрах в азиде серебра имеет вид:

$$\gamma_{нц} = 6,64 \cdot 10^{-11} \mu_{n,p} \left( \frac{m_{n,p}}{m_0} \right)^{-3/4} \left( \frac{T}{400} \right)^{3/4}, \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}. \quad (11)$$

Из (10) и (11) видно, что константы захвата на заряженных и нейтральных центрах зависят от подвижностей поляронов и эффективных масс электронов и дырок, следовательно, определяются одним параметром: эффективной массой зонной дырки  $m_p$ .

Все константы ЭДП в азиде серебра могут быть рассчитаны при заданной эффективной массе зонной дырки.

Константы захвата  $\gamma_{i n,p}$  электронов и дырок зависят от сечения захвата  $S_i$  на данном типе ловушек и средней тепловой скорости носителей  $V_{n,p}$ :

$$\gamma_{i n,p} = V_{n,p} \cdot S_i; \quad (12)$$

где  $V_{n,p} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi M_{n,p}}}$ ;  $M_{n,p}$  - эффективная масса полярона.

Используя полученные величины параметров поляронов при известной эффективной массе легко определить сечения захвата электронов и дырок на заряженных и нейтральных центрах в азиде серебра. Рассчитанные при  $m_p/m_0=3$ ,  $m_n/m_0=0,5$ ,  $T=300$  К константы скоростей и сечения захвата приведены в таблице 1.

Таблица 1

Константы скоростей и сечения захвата электронов и дырок заряженными и нейтральными центрами в азиде серебра

Центр	$\gamma_p, \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$	$S_p, \text{ см}^2$	$\gamma_n, \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$	$S_n, \text{ см}^2$
$V_k^-$	$1,54 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-12}$	—	—
$V_k^0$	$4,8 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-14}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,23 \cdot 10^{-14}$
$Ag_i^+$	—	—	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$1,77 \cdot 10^{-13}$

Полученные величины сечений захвата хорошо коррелируют с известными сечениями нейтральных и заряженных центров в щелочно-галогидных кристаллах [10].

#### Заключение

Носителями заряда в  $AgN_3$  являются поляроны большого радиуса. При  $T=300$  К оценены параметры поляронов: константы поляронной связи ( $\alpha_n$ ,  $\alpha_p$ ), их радиусы, собственные энергии, эффективные массы носителей в валентной зоне и зоне проводимости  $AgN_3$ , а также эффективные плотности состояний вблизи краев зон с учетом поляризации. Рассчитаны подвижности электронов и дырок в азиде серебра при учете их рассеяния на продольных оптических фонах для  $T=300$  К.

Оценено энергетическое положение уровней дефектов в запрещенной зоне, определены константы скоростей электронно-дырочных переходов и сечения захвата носителей заряженными и нейтральными центрами в  $AgN_3$ . Показано, что на катионных вакансиях энергетически выгодна локализация одного и двух дырочных поляронов, с образованием  $V_F$  и  $V_{F'}$  центров. Локализация электрона на междоузельном катионе серебра приводит к образованию мелких серебряных центров  $Ag^0$ .

Полученные результаты находятся в хорошем согласии с имеющимся в азиде серебра экспериментом [8] и согласуются с соответствующими величинами в ионных кристаллах и галогенидах серебра [9].

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ госзадание № 2014/64 и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (№ 14-03-00534 А).*

#### Литература.

1. Кригер В.Г. Кинетика и механизмы твердофазных цепных реакций в энергетических материалах при стационарном воздействии / Кригер В.Г., Журавлев П.Г., Балыков Д.В. // в сборнике: Сове-

- менное состояние и проблемы естественных наук. Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. – Томск, 2014. – С. 222-226.
- Кригер В.Г. Полярный характер носителей заряда в азиде серебра / Кригер В.Г. // Изв. АН СССР, сер. Неорг. м-лы. – 1982. – № 6, – С. 960.
  - Боуден Ф., Иоффе А. Быстрые реакции в твердых веществах. М.: ИЛ. – 1962. – С. 243.
  - Захаров Ю.А. О механизме ядрообразования при термическом разложении азиды серебра. / Захаров Ю.А., Гасьмаев В.К., Колесников Л.В // Ж. физ. Химии. – 1976, – Т. 50, – № 7, – С. 1669-1673.
  - Пекар С.И. Исследования по электронной теории кристаллов / Пекар С.И // М.: Гостехиздат. – 1951. – С. 256.
  - Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергия. – 1976. – С. 415.
  - Захаров Ю.А., Колесников Л.В., Черкашин А.Е. Изв. АН СССР. Сер. неорганич. материалы. – 1979. – Т. 14. – № 7. – С. 1283-1288.
  - Кригер В.Г. Кинетические особенности реакций твердофазного разложения азидов тяжелых металлов / Кригер В.Г., Каленский А.В., Захаров Ю.А. // Актуальные проблемы фото- и радиационной физико-химии твердых кристаллических неорганических веществ: (научные обзоры). Кемерово: Кузбассвузиздат. – 2004. – С. 263-324.
  - Кригер В.Г. Кинетика и механизмы реакций твердофазного разложения азидов тяжелых металлов. Дис. докт. ф.-м. наук. – Кемерово, 2002. – С. 369.
  - Алукер Э.Д. Электронные возбуждения и радиolumинесценция щелочно-галогидных кристаллов / Алукер Э.Д., Лусис Д.Ю., Чернов С.А. // Рига: Зинатне. – 1979. – С. 251.

### РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ ЗУБЬЕВ ПЛОСКОКОЛЁСНЫХ ПЕРЕДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*А.З. Бигалиева, преподаватель, Р.Ж. Аймагамбетова, преподаватель  
 Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда  
 100000, г. Караганда Бульвар Мира, 56, тел. (7212) 56-44-22  
 E-mail: alfija84@mail.ru*

Автоматизация расчёта на прочность зубьев плоскоколёсных передач сводится к компьютерному моделированию напряжённо-деформированного состояния зубьев методом конечных элементов. В связи с указанным обстоятельством для анализа напряжённо-деформированного состояния зубьев плоского колеса используется его трёхмерная компьютерная модель.

Для расчёта и построения трёхмерной модели зуба плоского колеса разработана компьютерная программа – “Solid Teeth”. Главное окно программы представлено на рис. 1 а, б. После того, как введены исходные данные, строится модель зуба, используя концепцию СОМ (СОМ – Component Object Model, модель компонентных объектов). Технология СОМ позволяет связывать между собой различные приложения. Это дает возможность одним приложениям (приложениям-клиентам) использовать функции других приложений (приложений-серверов). В качестве СОМ-сервера была выбрана объектная модель AutoCAD.

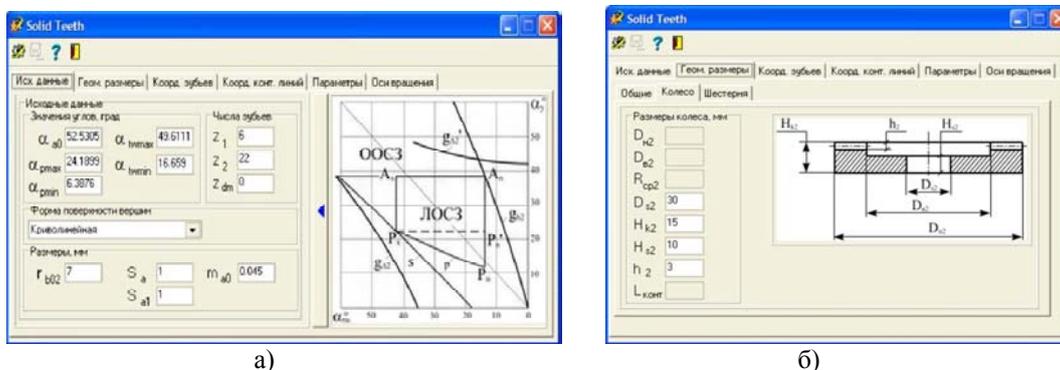


Рис. 1. Главное окно компьютерной программы “Solid Teeth”

После того, как в AutoCAD построена твёрдотельная модель зубьев колёс передачи, происходит экспорт данной модели, используя формат IGS, в универсальную конечно-элементную CAD-

систему. Наиболее известными представителями конечно-элементных программных продуктов являются COSMOSWorks, ANSYS, NASTRAN.

Анализ напряжённо-деформированного состояния был проведен для плоского колеса со следующими параметрами: число зубьев – 22, внутренний диаметр – 55,3 мм, наружный диаметр – 79,5 мм, модуль – 2,3 мм. Материал – сталь, плотность 7850 кг/м<sup>3</sup>, модуль Юнга 2,14.105 МПа, коэффициент Пуассона 0,29. Нормальная сила в зацеплении 100 Н. Характеристики конечно-элементной модели: общее число элементов – 52 405, количество узлов – 76 469. Результаты расчёта на прочность зубьев плоского колеса приведены в таблице.

Результаты расчёта на прочность зубьев плоского колеса

Нормальная сила в зацеплении, Н	Главное напряжение $\sigma_1$ , Н / м <sup>2</sup>	Главное напряжение $\sigma_2$ , Н / м <sup>2</sup>	Главное напряжение $\sigma_3$ , Н / м <sup>2</sup>	Максимальная деформация, м
100	$6,43 \times 10^6$	$1,71 \times 10^6$	$9,133 \times 10^5$	$2,225 \times 10^{-7}$

Максимальные эквивалентные напряжения находятся у основания зуба на переходной кривой. С использованием результатов компьютерного моделирования напряжённо-деформированного состояния зубьев плоского колеса даются рекомендации по оптимизации формы переходной кривой, наиболее полно определяются условия эксплуатации передачи.

В большинстве случаев наиболее нагруженными будут зубья цилиндрической шестерни, расчёт на прочность которой выполняется по известной методике для эвольвентных цилиндрических колёс. Можно составить расчётную схему из двух колёс передачи. Для уменьшения размерности задачи рационально использовать не все зубья колёс, а оставить для расчёта на прочность по три зуба у каждого из колёс передачи. В этом случае определяются не только эквивалентные, но и контактные напряжения. Это позволит выполнять полностью автоматизированный комплексный расчёт на прочность плоскоколёсных зубчатых передач в наиболее удобной для пользователя конечно-элементной программной системе.

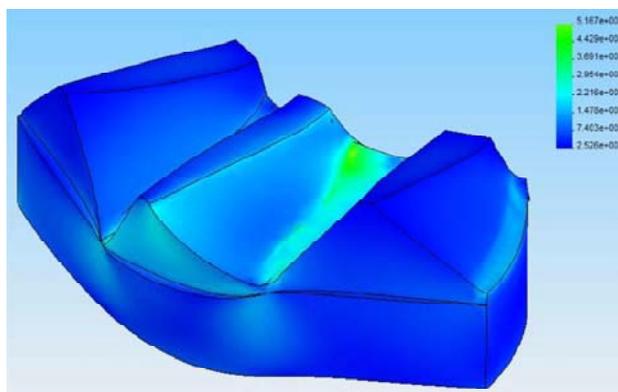


Рис. 2. Эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу, Н / м<sup>2</sup>

Применение современных компьютерных технологий для расчёта на прочность зубьев плоскоколёсных передач позволяет значительно снизить трудоёмкость их прочностного расчёта, повысить скорость и качество проектирования данного вида передач. Кроме того, использование формата AutoCAD предоставляет широкие возможности по графической обработке трёхмерной модели зуба, а также возможность экспорта в другие приложения.

Литература.

1. Лопатин Б.А., Цуканов О.Н. Цилиндро-конические зубчатые передачи. Челябинск: ЮУрГУ, 2005. 200с.
2. Цуканов О.Н., Лопатин Б.А., Калашников Д.Б. Проектирование ортогональных цилиндрико-конических зубчатых передач в обобщающих параметрах. Ижевск: ИжГТУ, 2004.
3. Полещук Н.Н. AutoCAD 2004: разработка приложений и адаптация. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 624с.

## USE OF SILVER NANOPARTICLES IN TREATMENT OF SOCIALLY SIGNIFICANT DISEASES

*M.G. Grigoriev, PhD student, L.N. Babich, student,  
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk  
634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30, phone. +7(913) 824-83-97  
E-mail: Mishatpu@mail.ru*

Provision of high efficacy and quality of drugs developed based on nanotechnology is possible only in case of compliance with the requirements for the development, study, introduction and production of new pharmaceuticals. While determining the toxicological characteristics of substances, determination of genotoxicity and cytotoxicity is the first stage, the purpose of which is to determine the ability to induce primary DNA damage, as well as the possible negative effects on cell cultures. Taking into account the need for the introduction of new antimicrobial agents it is reasonable to develop combined agents that would have better efficacy and safety indicators. The studies of nanosilver-based drugs acting against antibiotic-resistant microorganisms, cytotoxicity and genotoxicity study of nanocomposite, finely dispersed silica and silver nanoparticles produced by alkaline single cell-gel electrophoresis assay are of significant scientific and practical interest. It has been demonstrated that finely dispersed silica nanocomposite with silver nanoparticles has no genotoxic properties, and its cytotoxicity disappears at concentrations below 0.007% [1 – 3].

Creation of functional nanomaterials and nanodevices is the most promising using the nanoparticles obtained by the chemical solution methods. These methods allow producing nanoparticles, especially from precious metals such as gold and silver, with a profusive variety of composition, structure, shapes and sizes.

Possible applications of nanoparticles are not limited to a certain range. They are widely used for diagnostics and treatment of various diseases, including cancer. They are also used in immunochemical studies. So, they have been extensively studied in a new sect of experimental medicine, which is now called “nanomedicine”. According to the literature it is known that, in particular, the silver nanoparticles may be used to produce a wide range of materials with antibacterial properties. At the same time, it has been found over the past few years that different nanoparticles when they enter the body, can lead to the development of serious diseases (nanopathologies). It is also emphasized that metal nanoparticles can enter the body in different ways, for example, through the mucous membranes of the respiratory tract and digestive system and through the skin when using cosmetics. They can penetrate through the bloodstream as an ingredient of vaccines and serums, etc. The risk of the spread of diseases of that type (nanopathologies) has been still not entirely investigated or realized. However, their importance is great today and in it is obvious that it will increase in the future. The determination of the causes of “harmful” (pathological) effect of nanoparticles and development of the ways to control the manifestations of diseases associated therewith are still going on. The question raised by the penetration of nanoparticles into the body remains an open one. Therefore, this area is now becoming the subject of the new and developing sect in the modern experimental medicine [4].

Thus it can be said without prejudice that determination of additional ways, as well as the methods of nanoparticle effect is continuously going on. This especially applies to the effect of metal nanoparticles on the living organism. It is still critically important and popular in researches and developments. The need is expressed in improvement of existing prototypes, as well as production of new generations of drugs. This will be followed by the development of the new treatment methods in the field of nanomedicine. These aspects will allow revealing the features to determine the causes of nanopathologies emergence. They will also allow determining and developing science-based and acceptable ranges of concentration and size of nanoparticles, depending on their location: in water, air or as a part of various materials, which a human contacts with. Further opportunities to study the properties of silver nanoparticles are being expanded. The development of options of their practical application reaches higher heights. Determination of the mechanisms of their biological effect on the macroorganism is being improved. The method for the production thereof largely depends on them. The latter is a criterion determining in many cases their structure, sizes, physical and chemical properties. Finally everything lies in stability, which specifies the lifetime of certain nanosized particles. In recent years, among the variety of methods for production of nanoparticles the chemical synthesis methods based on the reduction of metal ions to atoms form a large group. This can occur in solutions, and in other conditions that are favorable to the subsequent aggregation of the atoms and ions to form the necessary nanoparticles [5].

The modern arsenal of pharmacotherapy has a wide range of potent drugs. However, despite this, the results of treatment are often not very satisfactory. Among the many factors that reduce the efficacy of existing drugs, it should be noted that they have extremely unfavorable biodistribution. It may be due to the specific features and difficulties in their penetration into the nidus. The underlying causes of such a pattern may include hindered access to the target organ due to the structural features of specific tissues (presence of different histo-hematic barriers). They may also include insufficient intracellular transport due to the features

and/or physico-chemical properties of the drug. The usual way to overcome this obstacle is to increase treatment efficacy by increasing its dose. The drawback of this method of achieving therapeutic effect is surely the increase in the non-specific toxicity of the drug used. In this regard, the specified problem is of utmost importance in cases of application of potent drugs. These include, for example, antineoplastic agents and antibiotics. Their application is always associated with various side effects. It is often a factor that vitiates all efforts [6 – 8].

In view of the aforesaid polymeric nanoparticles are of particular interest. These are the particles from 10 to 1000 nm. Their dimension is a criterion determining stability and required capacity in respect to a broad spectrum of drugs [9].

It should be emphasized that this is a long-term use of high doses of silver (solution concentration 30 - 50 mg/l) over many years for therapeutic purposes. It is also observed when using silver compounds under production conditions. This may lead to the deposition of silver in the skin and the subsequent change of skin color. This is called argyria, an occupational disease of jewelers when the skin is getting tanned. It results from the photochemical reduction of silver ions in the skin thickness. However, no changes in the functional state of organs and systems have been revealed when examining such patients. No abnormal findings in the biochemical processes taking place in the body have been detected as well. Only increased resistance to most viral and bacterial infections was observed in all people with symptoms of argyria [10].

Over the last years there has been certain information in domestic and foreign scientific literature that silver is a potent immunomodulator. This action is comparable only with steroid hormones. It has been also found that silver can both stimulate and inhibit the phagocytosis depending on the dose used. It has been noted, that under the action of silver particles the amount of immunoglobulin of IgA, IgM-, IgG- classes is increased and the percentage of T-lymphocytes is increased as well [11].

Thus, the analysis of the contemporary literature is indicative of an urgent need to create fundamentally new drugs for the treatment of socially significant diseases on the basis of modern nanotechnology. Nanosilver-based ointment for the treatment of infectious dermatitis, nanoiron capsules for the treatment of anemia, nanosized silica (silics) for the treatment of poisoning, lipoflamin for the treatment of myocardial infarction are already used in clinical practice today. However, there are no effective and safe drugs for the treatment of viral diseases, including HIV, hepatitis, influenza, herpes, Alzheimer's disease, Parkinson's disease, malignant tumors, infectious diseases, which are caused by antibiotic-resistant strains of microorganisms, endocrine system disorders (diabetes, myxedema) schizophrenia, epilepsy, manic-depressive illness.

#### References.

1. D.S. Savchenko, Study of genotoxicity and cytotoxicity of nanocomposite of finely-dispersed silica with silver nanoparticles, *Journal of New Medical Technologies*. 20 (2013) 44–47 (in Russian)
2. G.M. Shub, O.G. Shapoval, S.Ye. Velmakin, L.B. Sakulina, Changing of adhesive activity of *Escherichiacoli* and *Pseudomonasaeruginosa* under the influence of silver nanoparticles, *Fundamental research*. 6 (2013) 1453–1455 (in Russian)
3. O. Brandt, M. Mildner, A. E. Egger, M. Groessler, U. Rix, M. Posch, B. K. Keppler, C. Strupp, B. Mueller, G. Stingl, Nanoscale silver possesses broad-spectrum antimicrobial activities and exhibits fewer toxicological side effects than silver sulfadiazine, *Nanomedicine–UK*. 8 (2012) 478–488
4. M.S. Islam, C. Larimer, A. Ojha, I. Nettleship, Antimycobacterial efficacy of silver nanoparticles as deposited on porous membrane filters, *Mater. Sci. Eng. C. Mater. Biol. Appl.*, 33 (2013) 4575–4581
5. F. Martínez-Gutiérrez, J.M. Guajardo-Pacheco, M.E. Noriega-Trevino, E.P. Thi, N. Reiner, E. Orrantia, Y. Av-Gay, F. Ruiz, H. Bach, Antimicrobial activity, cytotoxicity and inflammatory response of novel plastics embedded with silver nanoparticles, *Future Microbiol.*, 8 (2013) 403–411
6. Ye.M. Yegorova, Biochemical synthesis of gold and zinc nanoparticles in reverse micelles, *J Phys Chem*, 84 (2010) 713–720 (in Russian)
7. N.B. Demina, S.A. Skatkov, Pharmaceutical nanotechnology: development of technological disciplines in higher pharmaceutical education, *Farmatsiya*, 2 (2009) 46–50 (in Russian)
8. Z. Marková, K.M. Šišková, J. Filip, J. Cuda, M. Kolar, K. Safarova, I. Medrik, R. Zboril, Air Stable Magnetic Bimetallic Fe–Ag Nanoparticles for Advanced Antimicrobial Treatment and Phosphorus Removal, *Future Microbiol.*, 47 (2013) 5285–5293
9. N. Chen, Y. Zheng, J. Yin, X. Li, C. Zheng, Inhibitory effects of silver nanoparticles against adenovirus type 3 in vitro, *J. Virol. Methods*, 193 (2013) 470–477
10. V. Ye. Borisenko, Influence of nanosized particles on biological objects, *Medsina: theoretical and practical reviewed medical journal in Belarus*, 1 (2010) 39–43 (in Russian)
11. L.S. Sosenkova, Ye.M. Yegorova, Small silver nanoparticles for studies of biological effects, *J Phys Chem*, 85 (2011) 1–10 (in Russian)

### ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ФАЗ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛОСЧАТОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 И БРОНЗЫ ПГ-19М-01, ПОЛУЧЕННОГО ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ

О.Г. Девойно, д-р т.н., проф., Н.И. Луцко, науч. сотр., А.С. Лапковский, мл. науч. сотр.

Белорусский национальный технический университет

220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (017) 331-00-45

E-mail: nilucko@tut.by

В последние годы в связи с резким увеличением потребности промышленности в высокоизносостойких материалах все больше возрастает роль композиционных материалов. В этом смысле большой интерес может представлять лазерная наплавка, как инструмент создания композиционных полосчатых покрытий из разнородных металлических материалов. Такие покрытия характеризуются не только высокой износостойкостью, но и анизотропией износостойкости и физико-механических свойств в разных направлениях относительно наплавляемых валиков [1, 2].

В данной работе изучалось распределение элементов в композиционном полосчатом покрытии, полученном методом лазерной наплавки чередованием валиков из самофлюсующегося сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01. Химический состав исходных порошков приведен в таблице 1.

Таблица 1

Марка	Химический состав наплавлявшихся порошков									
	Содержание компонентов, % (по массе)									
	Cr	B	Si	Fe	C	Ni	Co	Cu	W	Al
ПГ-12Н-01	8-14	1,7-2,5	1,2-3,2	1,2-3,2	0,3-0,6	Основа	-	-	-	-
ПГ-19М-01	-	-	-	До 4	-	-	-	Основа	-	8,5-10,5

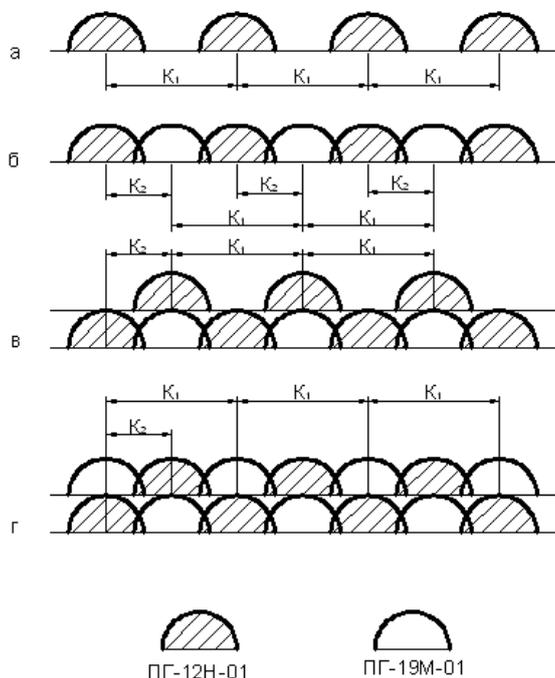


Рис. 1. Схема наплавки двухслойного композиционного покрытия:  
а- первый этап; б- второй этап; в- третий этап; г- четвертый этап

Покрытия наносились на технологическом комплексе на базе CO<sub>2</sub>-лазера непрерывного действия типа «Комета» и системы числового программного управления на образцы из стали 45, предварительно подвергнутые дробеструйной обработке. Наплавка композиционного полосчатого покрытия ве-

лась в четыре этапа. Схема наплавки композиционного покрытия приведена на рис. 1. После наплавки образцы разрезались в направлении перпендикулярном валикам наплавки, и заливались в оправки, после чего шлифовались и полировались. На полученных образцах проводилось исследование содержания элементов в валиках самофлюсующегося сплава и бронзы в композиционном покрытии.

Данные исследования осуществлялись на аттестованном сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором «INCA Energy 350» фирмы «Oxford Instruments Analytical» (Великобритания). Погрешность метода составляла 3-5 относительных процентов. Определялось содержание элементов в валиках самофлюсующегося сплава и бронзы в композиционном полосчатом покрытии в зависимости от скорости наплавки сплава/бронзы. Полученные данные представлены на рис. 2 и 3.

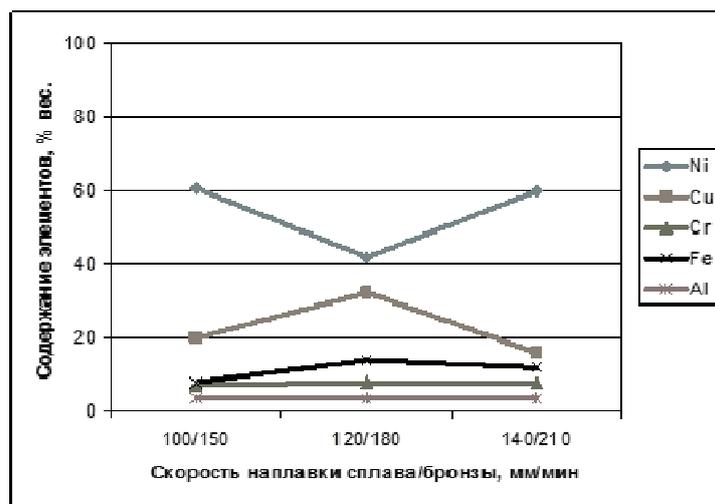


Рис. 2. Зависимость содержания элементов в бронзовой составляющей двухслойного композиционного покрытия от скорости наплавки

Проведенные исследования показали, что из-за интенсивного перемешивания материалов композиционного покрытия в ванне расплава происходит достаточно большая диффузия элементов фаз композиционного покрытия друг в друга. При этом области самофлюсующегося сплава и бронзы в композиционном покрытии по своему составу сильно отличаются от состава исходных материалов (таблица 1). Так медь из бронзы интенсивно проникает в самофлюсующийся сплав, в то же время никель и хром из самофлюсующегося сплава интенсивно диффундируют в бронзу.

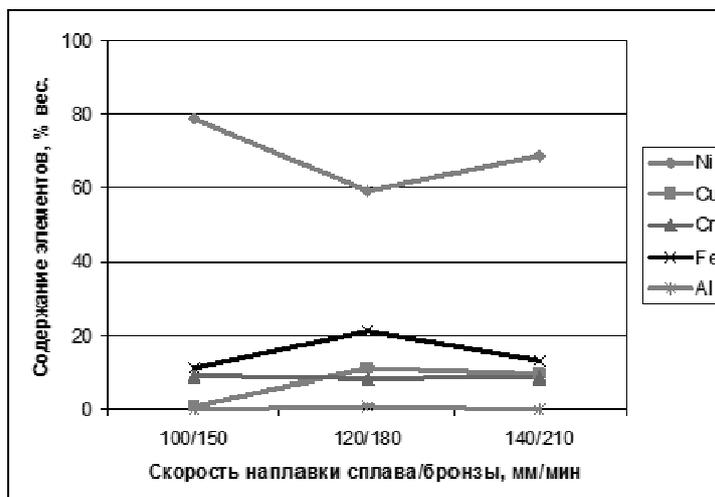


Рис. 3. Зависимость содержания элементов в самофлюсующемся сплаве двухслойного композиционного покрытия от скорости наплавки

Содержание меди в фазе самофлюсующегося сплава в композиционном покрытии доходит до 10%, в то время как в порошке сплава ПГ-12Н-01 она отсутствует. Содержание никеля в этой фазе композиционного покрытия составляет 60-78%, хотя в порошке этого сплава содержание никеля составляет 80%, содержание хрома также меньше значений приведенных в таблице 1. В фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия за счет диффузии из основы наблюдается большое содержание железа – 12-21%, против 1,2-3,2% в порошке сплава ПГ-12Н-01. Алюминий из фазы бронзы практически не проникает в фазу самофлюсующегося сплава.

В фазе бронзы композиционного покрытия содержание меди составляет всего 18-33%, тогда как в порошке бронзы меди 90%. В то же время содержание никеля в фазе бронзы доходит до 42-60%, содержание хрома – до 8%, а содержание железа – до 8-15%, хотя в порошке бронзы эти элементы отсутствуют. Содержание алюминия в фазе бронзы соответствует данным таблицы 1.

Сравнивая распределение элементов при разных скоростях лазерной наплавки, можно заметить некоторое влияние скорости наплавки на содержание элементов как в бронзовой составляющей (рис. 2), так и в фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия (рис. 3).

Из рис. 2 видно, что при увеличении скорости наплавки сплава/бронзы со 100/150 мм/мин до 120/180 мм/мин в бронзовой составляющей композиционного покрытия количество никеля уменьшается, но в то же время возрастает количество меди и железа. При дальнейшем увеличении скорости наплавки до 140/210 мм/мин количество никеля в бронзовой составляющей вновь увеличивается, а количество меди и железа – уменьшается. Содержание хрома и алюминия в бронзовой составляющей практически не зависит от скорости наплавки.

На рис. 3 можно заметить, что при увеличении скорости наплавки сплава/бронзы со 100/150 мм/мин до 120/180 мм/мин в фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия количество никеля уменьшается, а количество меди и железа увеличивается как и в фазе бронзы. С увеличением скорости наплавки до 140/210 мм/мин содержание никеля в фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия возрастает, содержание же железа и меди уменьшается аналогичным образом. Содержание хрома и алюминия в фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия как и в предыдущем случае от скорости наплавки не зависит.

Такой характер зависимостей связан скорее всего со сложными процессами нагрева – охлаждения происходящими с изменением скорости наплавки при нанесении многослойных композиционных покрытий, в том числе при повторных нагревах-охлаждениях при наплавке соседних валиков и слоев. Действующими факторами в данном случае могут являться величина энерговыклада в покрытие, величина экранирования излучения лазера аэрозолями наплавляемых металлов, а также соотношение теплоемкостей компонентов многослойного композиционного покрытия.

Литература.

1. О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, Н.И. Луцко, О.Н. Кавальчук. – Формирование однослойных композиционных полосчатых покрытий из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01, получаемых лазерной наплавкой. – Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки/ редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2013. – 616 с.: ил., С. 177-184.
2. О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, Н.И. Луцко, А.С. Лапковский, О.Н. Кавальчук. – Формирование двухслойных композиционных покрытий из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01, полученных лазерной наплавкой. – Инновационные технологии в машиностроении: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти проф. В.Л. Кирпичева и 45-летию ПГУ, Новополоцк, 29-30 окт. 2013 г./ Полоц. гос. ун-т: под общ. ред. А.И. Гордиенко, В.К. Шелега. – Новополоцк, 2013. – 248 с., С. 126-130.

## СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА

*Б.В. Дампилон, к.т.н., доц., А.М. Толстокулаков, студент,  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56  
E-mail: Ist.Jimmy@mail.ru*

**Аннотация.** В настоящей работе представлены результаты исследования влияния импульсной электронной обработки и последующего отжига на структуру и твердость покрытий из хромо-ванадиевого чугуна. Покрытия были получены методом электронно-лучевой наплавки на подложке из малоуглеродистой стали. После шлифования поверхности покрытий были обработаны локально

импульсным сфокусированным в точку электронным пучком. Результаты исследования показали, что модифицированные зоны состоят из двух фаз. Первая фаза – пересыщенный аустенит. Вторая локально распределенные в объеме модифицированной зоны зародыши эвтектики. Результаты измерений системой NanoTest показали, что модифицированные зоны имеют низкие значения твердости. Низкие значения твердости, вероятно, обусловлено наличием значительного объема пересыщенного аустенита в модифицированной зоне. Отжиг приводит к значительному увеличению твердости модифицированных зон. В результате отжига (500°C) пересыщенный аустенит распадается. Повышение температуры отжига до 1100°C приводит к росту и коагуляции карбидной фазы модифицированных зон.

**Ключевые слова:** импульсивный, электронно-лучевая обработка, упрочнение покрытий из хромо-ванадиевого чугуна, модифицированные зоны, пересыщенный аустенит, отжиг, твердость.

**Введение.** Обработка поверхности различных металлов и сплавов концентрированными потоками энергий все шире применяется в инженерии поверхности. Целью такой обработки является модифицирование структуры и улучшение эксплуатационных свойств рабочего поверхностного слоя деталей машин и конструкций. Ресурс работы тяжелонагруженных деталей в основном определяется износостойкостью их рабочей поверхности. Поэтому использование дорогостоящих конструктивных материалов для изготовления всего объема деталей нецелесообразно. Экономически себя оправдывают детали со специальными покрытиями или модифицированными поверхностными слоями, обеспечивающими нужный комплекс свойств. Рабочая поверхность детали защищается от износа покрытием или модифицированным слоем, а прочность и вязкость детали в целом обеспечивается стальной основой.

Модифицированию поверхностных слоев материалов с помощью импульсных электронных пучков посвящено достаточно много работ [1-4]. Во всех работах авторами предпринята попытка модифицирования поверхности материалов широкоапертурным пучком с целью повышения эксплуатационных свойств значительной по площади поверхности изделия. В результате такой обработки формируется модифицированный слой глубиной несколько десятков микрон. Основными недостатками такой обработки являются: незначительная глубина модифицированного слоя и сплошная граница раздела, создающая сильнонапряженное состояние между модифицированным слоем и основным материалом, значительно отличающимися по структуре и свойствам (рис. 1а). Мягкие материалы при такой обработке еще способны обеспечить релаксацию напряжений на границе раздела, а высокопрочные легированные сплавы с элементами внедрения за счет значительной разницы в свойствах модифицированного слоя и основного материала уже не способны выдерживать напряжения на границе раздела, и релаксация напряжений происходит с образованием трещин в модифицируемом слое. Для эффективной релаксации напряжений необходимо создавать прерывистую границу раздела в процессе модифицирования поверхностных слоев. Для достижения указанного эффекта можно использовать локальную обработку поверхности материала сфокусированным в точку электронным пучком или развернутого в линию. В результате такой обработки можно сформировать локальные модифицированные зоны на глубину несколько сотен микрон и разграниченные прослойками исходного материала.

Одной из перспективных для нанесения покрытий и модифицирования поверхностного слоя является вакуумная электронно-лучевая технология. Технология позволяет наносить на детали тонкие покрытия в режиме напыления, покрытия значительной толщины в режиме наплавки порошковых материалов, а также производить обработку поверхности непрерывными и импульсными пучками электронов. Использование комплекса режимов электронно-лучевой технологии позволит конструировать рабочую поверхность тяжелонагруженных деталей машин и механизмов.

**Цель работы.** Исследовать структуры и некоторые свойства модифицированных зон, полученных локальной импульсной электронно-лучевой обработкой на поверхности покрытий из хромо-ванадиевого чугуна.

**Материал и результаты исследований.** Покрытия из эвтектического хромованадиевого чугуна были нанесены на подложки из малоуглеродистой стали методом электронно-лучевой наплавки (ЭЛН) в вакууме. Толщина наплавленных покрытий 2 мм. После шлифовки поверхность покрытий была локально обработана импульсным сфокусированным в точку ( $\varnothing 1$  мм) электронным лучом с дискретным точечным распределением в квадратной упаковке по площади поверхности покрытия (рис.1б). Каждая модифицированная зона образована в результате одного импульса электронного пучка с длительностью 15 миллисекунд. Микроструктуру модифицированных зон исследовали с помощью растрового электронного микроскопа Leo Evo 50 с использованием микрорентгеноспек-

трального анализа. Твердость модифицированных зон измеряли с помощью измерительного комплекса Nanotest. Термическую обработку образцов проводили в вакуумной печи при различных температурах от 500 до 1100°C с выдержкой 30 минут.

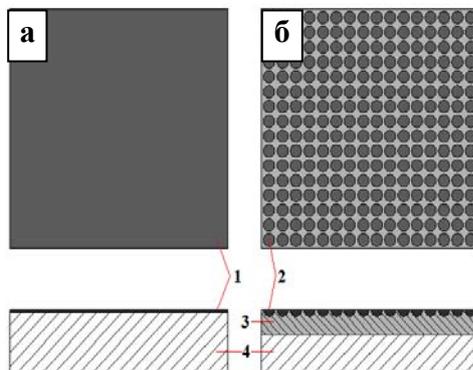


Рис. 1. Схематическое изображение образцов со сплошным модифицированным слоем (а) и с дискретным точечным распределением модифицированных зон в квадратной упаковке (б): 1 – модифицированный слой; 2 – модифицированная зона; 3 – наплавленное покрытие; 4 – материал упрочняемого изделия.

В результате локальной импульсной обработки электронным лучом на поверхности покрытия из хромованадиевого чугуна сформировались модифицированные зоны (зоны импульсного воздействия). Диаметр каждой зоны на поверхности составил порядка 500-600 мкм (рис. 2), с глубиной 400-500 мкм. Между модифицированными зонами остались прослойки покрытия, не подвергавшиеся воздействию электронного луча и необходимые для релаксации напряжений на границе раздела основного материала с модифицированными зонами. Модифицированные зоны образовались через жидкую фазу. При воздействии импульсного (15 мсек.) сфокусированного в точку пучка электронов на поверхность покрытия, материал в зоне воздействия быстро нагревается до температуры плавления и мгновенно кристаллизуется за счет интенсивного отвода тепла в объем материала. В результате такого воздействия материал в зоне воздействия находится в сильнонеравновесном структурном состоянии. Процесс можно характеризовать как закалку из жидкого состояния.

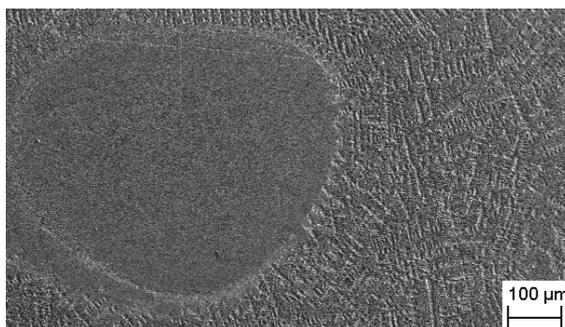


Рис. 2. Локальная модифицированная зона на поверхности покрытия из хромованадиевого чугуна, полученная импульсным воздействием электронного пучка (РЭМ)

Результаты исследований с использованием растровой электронной микроскопии показали значительное изменение структуры модифицированных зон по сравнению со структурой исходного покрытия (рис. 3). Модифицированные зоны состоят из двух фаз. Первая фаза представляет собой сильнопересыщенный аустенит, а вторая – ультрадисперсные зародыши эвтектики, имеющие характерную для эвтектики разветвленную форму. Аустенитная фаза имеет однородную структуру, занимает основной объем модифицированной зоны и фактически не травится «царской водкой». После травления сильнопересыщенный аустенит имеет вид сплошного каркаса с вытравленными участками зародышей эвтектики (рис. 3, б).

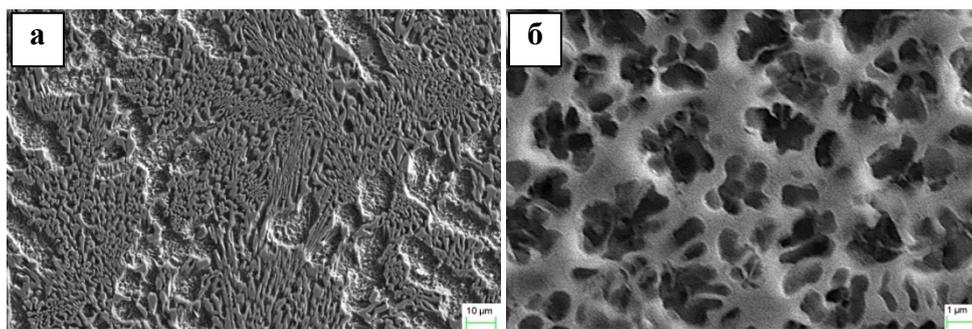


Рис. 3. Микроструктура исходного покрытия из эвтектического хромованадиевого чугуна (а) и микроструктура модифицированной зоны (б) после травления в «царской водке» (РЭМ)

В результате обработки покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна импульсным электронным лучом формируются модифицированные зоны с сильнонеравновесным структурно-фазовым состоянием. С целью приведения материала модифицированной зоны в более равновесное структурное состояние был проведен отжиг образцов при различных температурах. Результаты исследования показали, что после отжига при  $T=500^{\circ}\text{C}$  (рис. 4а) наблюдается распад сильнопересыщенного аустенита на эвтектоид с наноразмерными структурными аморфной фазы. Структура распавшейся аморфной фазы имеет вид эвтектики с наноразмерными структурными составляющими. Отжиг при более высоких температурах ( $700-800^{\circ}\text{C}$ ) приводит также к распаду аморфной фазы, заметному росту и коагуляции карбидной фазы эвтектики (рис. 4б, в). После отжига при  $1100^{\circ}\text{C}$  карбидная фаза уже представлена в виде отдельных частиц имеющих дисперсность 1-2 мкм (рис. 4г). Вторичные карбиды в зависимости от режимов термообработки имеют дисперсность от десятков нанометров до единиц микрометров, равномерно распределяясь в объеме модифицированных зон. Импульсная локальная обработка сфокусированным электронным лучом покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна, полученных электронно-лучевой наплавкой и последующий высокотемпературный отжиг приводят к значительному изменению структуры материала в модифицированных зонах относительно материала покрытия (рис. 5). Формируя сверхнеравновесное структурное состояние материала, можно в дальнейшем управлять его структурой последующей термической обработкой.

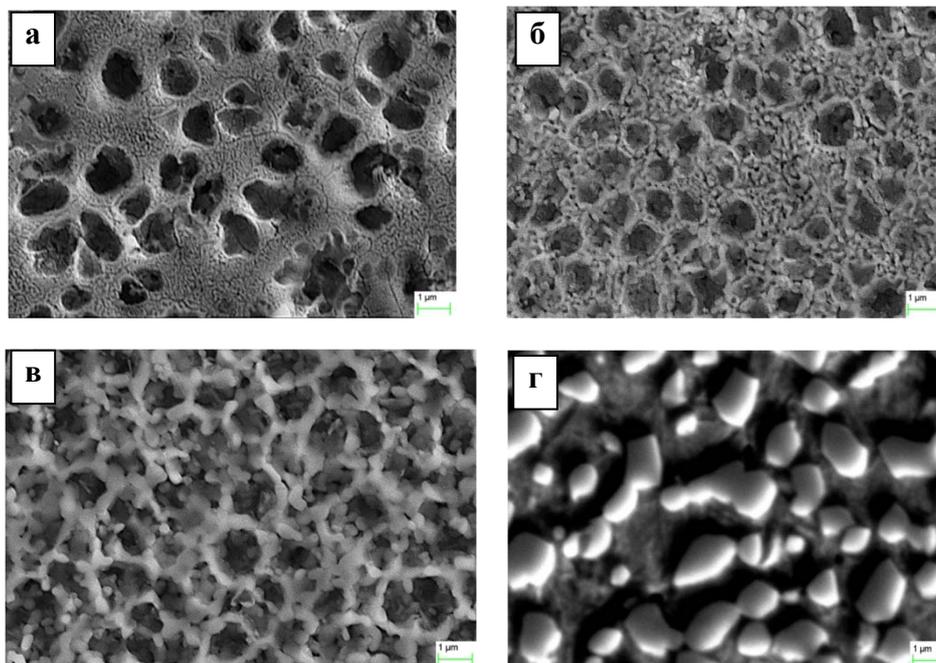


Рис. 4. Микроструктура модифицированных зон после отжига при различных температурах (травление в «Царской водке»): а – без ТО (исходная структура); б -  $500^{\circ}\text{C}$ ; в -  $700^{\circ}\text{C}$ ; г –  $800^{\circ}\text{C}$ ; д –  $1100^{\circ}\text{C}$

Проведенные измерения с помощью измерительного комплекса NanoTest показали, что материал модифицированных зон имеет очень низкие показатели твердости и модуля упругости (рис. 5). Низкие значения указанных свойств, вероятно, связаны с аморфным метастабильным состоянием основной фазы. Последующий высокотемпературный отжиг образцов приводит к значительному увеличению твердости и модуля упругости модифицированных зон. Вероятно, с увеличением температуры отжига за счет диффузионных процессов происходит достраивание карбидов до равновесного стехиометрического состава с увеличением их твердости и модуля упругости.

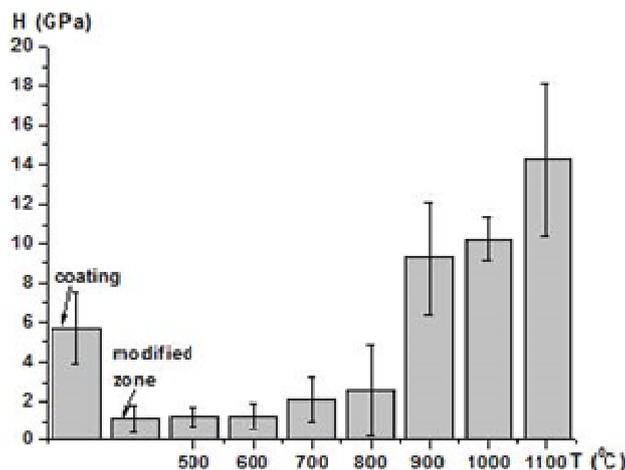


Рис. 5. Твердость модифицированных зон после наплавки, импульсной электронно-лучевой обработки и отжига при различных температурах (coating – исходное покрытие; modified zone – модифицированная зона)

**Заключение.** Локальная импульсная электронно-лучевая обработка покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна приводит к образованию модифицированных зон с сильнонеравновесным структурным состоянием. Материал модифицированной зоны состоит из сильнопересыщенного аустенита и зародышей эвтектики.

Модифицированные зоны имеют низкие показатели твердости из-за значительного количества сильнопересыщенного аустенита. Последующий отжиг образцов при 500°C приводит к распаду сильнопересыщенного аустенита на эвтектоид с наноразмерными структурными составляющими. Увеличение температуры отжига до 1100°C приводит к значительному росту и коагуляции карбидной фазы. Отжиг образцов в диапазоне 900-1100°C приводит к значительному увеличению твердости модифицированных зон. Повышение твердости вероятно связано с достраиванием карбидов до равновесного стехиометрического состава в указанном диапазоне температур.

Использование комплексной технологии включающей в себя электронно-лучевую наплавку, импульсную электронно-лучевую обработку и термическую обработку позволит конструировать поверхностные слои с высокими эксплуатационными свойствами на рабочей поверхности тяжелонагруженных деталей.

Литература.

1. Овчаренко В.Е., Псахье С.Г., Лапшин О.В., Колобова Е.Г. Модификация металлокерамического сплава электронно-импульсной обработкой его поверхности // Изв-я Томского политехнического университета. Технические науки. 2004. Том 37. №6. С. 75-80.
2. Полетика И.М., Гнусов С.Ф., Голковский М.Г. и др. Создание упрочняющих покрытий электронно-лучевой наплавкой и последующей импульсной обработкой электронным пучком // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. №1. С. 15-22.
3. Гнусов С.Ф., Тарасов С.Ю., Иванов Ю.Ф., Ротштейн В.П. Влияние импульсного электронно-лучевого плавления на микроструктуру и триботехнические свойства твердого сплава WC-сталь 110Г13 // Proc. of 6th Intern. Conf. on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows. 23–28 Sept. 2002, Tomsk, Russia.
4. Proskurovsky D., Rotshtein V., Ozur G., et al. Pulsed electron-beam technology for surface modification of metallic materials // J. Vac. Sci. Technol. A 1694, 1998.

## РАСЧЕТ ПОДВИЖНОСТИ ПОЛЯРОНОВ АЗИДА СЕРЕБРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

П.Г. Журавлев, аспирант, Д.В. Балыков, аспирант, В.Г. Кригер, д-р ф.-м.н., проф.  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский Государственный Университет», г. Кемерово  
650043, г. Кемерово ул. Красная, 6, тел. (3842)-58-06-05,  
E-mail: kriger@kemsu.ru

В работе проведен анализ электронно-дырочных процессов в азиде серебра с учетом поляризации кристаллической решетки носителями заряда. Определены подвижности поляронов при учете рассеяния на продольных оптических фононах. В ходе исследования собственно-дефектно модели твердофазных цепных реакций в энергетических материалах, разработанной в работах нашей лаборатории [1], появилась необходимость оценить эффективные массы электронов и дырок, определить их подвижности при учете рассеяния на продольных оптических фононах.

Азиды тяжелых металлов (АТМ) относятся к соединениям со значительной долей ионной связи, поэтому при исследовании в них явлений электронно-дырочного переноса (ЭДП) необходимо учитывать поляронные эффекты. Анализ данных электронно-дырочного переноса и внешней фотоэмиссии электронов, проведенных ранее в работе [2], показал, что носителями заряда в азидатных тяжелых металлов являются поляроны большого радиуса.

При низких температурах подвижность поляронов определяется рассеянием на акустических фононах и на примесях. Примесное рассеяние упругое, следовательно, соответствующее время релаксации может быть вычислено, если задан потенциал взаимодействия между полароном и примесью.

При температурах  $kT \geq \hbar\omega_0$  обычно преобладает рассеяние на оптических фононах. Первое предположение, сделано при выводе уравнения Больцмана (гипотеза "молекулярного хаоса") оправдано случайностью потенциала возмущения, создаваемого тепловыми колебаниями решетки. Второе предположение, для вычисления подвижности, заключается в том, что время между последовательными соударениями должно быть больше времени столкновения (1):

$$t \geq \hbar/kT \approx 2 \cdot 10^{14} \text{ с} \text{ или } \mu \geq \frac{e}{M} \cdot \frac{\hbar}{kT} = 0,76 \text{ см}^2/\text{Вс}; \quad (1)$$

Необходимое условие существования времени релаксации заключается в том, что энергия, испускаемая или поглощаемая полароном, должна быть мала по сравнению с его начальной энергией (равная примерно  $kT$ ). Это условие выполняется при температурах  $T \geq \hbar\omega_0/k = 304 \text{ К}$ . Теория подвижности поляронов, в случае сильной связи, была впервые сформулирована Пекаром [4]. Из проведенных ранее работ [4, 2], при учете только однофононного рассеяния на продольных оптических фононах, выражение для подвижности имеет вид (2):

$$\mu_p = \frac{1,744 \cdot 10^4}{(M/m_0)^{1/2}} \cdot \left(\frac{T}{304}\right)^{1/2} (CGSE); \quad (2)$$

В таблице 1 приведена рассчитанная при  $m_p = 3m_0$  и  $T = 300 \text{ К}$  величина дрейфовой подвижности дырочных поляронов.

Характеристики электронных поляронов определены, зная величину эффективной массы зонной дырки и приведенную массу экситона, которая для азидатного серебра была оценена в работе [3] и составляет  $m^* = 0,4m_0$ . Поскольку (3):

$$\frac{1}{m^*} = \frac{1}{m_p} + \frac{1}{m_n}; \quad (3)$$

Для эффективной массы электрона получаем значение  $m_n = 0,48m_0$ , которое слабо зависит от  $m_p$  и близко к значению эффективной массы электрона в галогенидах серебра [5]. Оценив эффективную массу электрона, рассчитаем характеристики электронных поляронов в  $\text{AgN}_3$ .

Константа электрон-фононного взаимодействия определяется выражением (4) [6] и равна:  $a = 2,26 < 5$ , т.е. сила связи промежуточная, между большой и малой. В этом случае радиус полярона более точно определяется выражением (4, 5) [6, 7]:

$$\alpha = 3,164 \left(\frac{m_p}{m_0}\right)^{1/2}; \quad (4)$$

$$R_n = \left(\frac{\hbar}{2\omega_0 m_n}\right)^{1/2} \approx 17 \text{ \AA}; \quad (5)$$

Теория поляронов большого радиуса при промежуточной силе связи была первоначально развита Ли, Лоу и Пайнсом и впоследствии усовершенствовалась в целом ряде работ [6, 7].

Собственная энергия полярона для промежуточной силы связи и его эффективная масса даются выражениями (6а, 6б):

$$H_n = a\hbar\omega_0 \approx 0,059(m_n / m_0); \quad M_n = \left(1 + \frac{a}{6}\right)m_n \approx 0,686m_0; \quad (6а, б)$$

Эти значения параметров полярона близки к соответствующим значениям в галогенидах серебра [5]. Таким образом, величина поляронной поправки к зонному состоянию и изменение эффективной массы электрона за счет учёта поляризации невелики.

Рассматривая  $Ag^0$  в азиде серебра как полярон, локализованный на дефекте с  $q=+e$  (например, междоузельный катион серебра  $Ag_i^+$ ), определим энергии локализации для одного и двух электронов.

Энергия локализации электронов на междоузельных катионах серебра в  $AgN_3$  при  $m_n=0,5m_0$  составила:  $W_n \approx 0,14$  эВ,  $W_n' < 0$ .

Таким образом, уровень  $Ag^0$  расположен на 0,14 эВ ниже дна зоны проводимости, следовательно, образование  $Ag_i^+$  центров в азиде серебра энергетически невыгодно. Полученный результат полностью соответствует известным данным по устойчивости серебряных кластеров в галогенидах серебра [5].

Дрейфовая подвижность поляронов большого радиуса при промежуточной силе связи рассматривалась в большом числе работ. При учете рассеяния на поляризационных фононах при ( $\hbar\omega_0 < kT$ ) подвижность  $\mu_n$ , рассчитанная для азиды серебра равна:

$$\mu_n = \frac{9,885 \cdot 10^3}{a \left(\frac{M_n}{m_0}\right)} \left(\frac{304}{T}\right)^{1/2} (CGSE); \quad (7)$$

где  $a = 3,164 \cdot \left(\frac{m_n}{m_0}\right)^{1/2}$ ;  $M_n$  определяется соотношением (6б).

Рассчитанные при  $T=300$  К параметры электронных поляронов в  $AgN_3$  приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры поляронов в азиде серебра

Поляроны	$m_{p,n}/m_0$	$Q_{p,n} \cdot 10^{-19}$ , см <sup>-3</sup>	$H_0$ , эВ	$\alpha$	$\mu$ , см <sup>2</sup> /В·с	$R_{p,n} \cdot 10^{-8}$ , см	$M_{p,n}/m_0$
Дырочные	3	$2,86 \cdot 10^2$	0,08	5,48	7-8	14	59
Электронные	0,48	0,36	0,01	2,24	10-12	17	0,69

### Заключение

Рассчитаны подвижности электронов и дырок в азиде серебра при учете их рассеяния на продольных оптических фононах для  $T=300$  К. Показано, что на катионных вакансиях энергетически выгодна локализация одного и двух дырочных поляронов, с образованием  $V_F$  и  $V_{F'}$  центров. Локализация электрона на междоузельном катионе серебра приводит к образованию мелких серебряных центров  $Ag^0$ .

Полученные результаты находятся в хорошем согласии с имеющимся в азиде серебра экспериментом [8] и согласуются с соответствующими величинами в ионных кристаллах и галогенидах серебра [9].

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ госзадание № 2014/64 и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (№ 14-03-00534 А).*

### Литература.

1. Кригер В.Г. Кинетика и механизмы твердофазных цепных реакций в энергетических материалах при стационарном воздействии / Кригер В.Г., Журавлев П.Г., Бальков Д.В. // в сборнике: Современное состояние и проблемы естественных наук. Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. – Томск, 2014. – С. 222-226.
2. Кригер В.Г. Поляронный характер носителей заряда в азиде серебра / Кригер В.Г. // Изв. АН СССР, сер. Неорг. м-лы. – 1982. – № 6, – С. 960.

3. Захаров Ю.А. О механизме ядрообразования при термическом разложении азида серебра. / Захаров Ю.А., Гасьмаев В.К., Колесников Л.В // Ж. физ. Химии. – 1976, – Т. 50, – № 7, – С. 1669-1673.
4. Пекар С.И. Исследования по электронной теории кристаллов / Пекар С.И // М.: Гостехиздат. – 1951. – С. 256.
5. Мейкляр П.В. Физические процессы при образовании скрытого фотографического изображения / Мейкляр П.В // М.: Наука. – 1972. – С. 399.
6. Поляроны. Под ред. Фирсова Ю.А. // М.: Наука. – 1975. – С. 422.
7. Devreese J.T. Electron–phonon interaction: Polaron – transport / Devreese J.T. // Lect. Notes. Phys. – 1980. – V. 122. – P. 155-175.
8. Кригер В.Г. Кинетические особенности реакций твердофазного разложения азидов тяжелых металлов / Кригер В.Г., Каленский А.В., Захаров Ю.А. // Актуальные проблемы фото- и радиационной физико-химии твердых кристаллических неорганических веществ: (научные обзоры). Кемерово: Кузбассвузиздат. – 2004. – С. 263-324.
9. Алукер Э.Д. Электронные возбуждения и радиолуминесценция щелочно-галогидных кристаллов / Алукер Э.Д., Лусис Д.Ю., Чернов С.А. // Рига: Зинатне. – 1979. – С. 251.

### **КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ С ВОЕННО-ПАТРИОТИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ**

*Д.В. Гнедаш, студент группы 17В41,  
научный руководитель: Полицинский Е.В., к.пед.н., доцент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: dmgnedash231@rambler.ru*

Получить специальные знания в соответствующих областях техники и технологии, сформировать определенную культуру научного мышления можно только на добротной основе естественнонаучного образования. Фундаментом естественных наук является физика, основным компонентом процесса обучения которой является решение задач. Среди основных функций физических задач выделяют: познавательную, развивающую, функцию единства теории и практики, функцию демонстрации междисциплинарных связей, функцию оценки качества знаний, умений и навыков.

Сочетание образования и воспитания в едином процессе обучения – одна из лучших традиций отечественной педагогической науки. Физика как учебная дисциплина обладает широкими возможностями не только по развитию творчества, формированию таких личностных качеств как активность, целеустремленность, но и воспитанию чувства патриотизма у будущих специалистов. Существует большое количество методических разработок по формированию у школьников и студентов чувства патриотизма на занятиях по физике.

Знакомство с успехами страны в области физики и технике через сообщения в процессе изучения нового материала позволяет оказывать положительное влияние на формирование у школьников и студентов чувства гордости за свою Родину, т. к. обучающиеся узнают больше о жизни и достижениях ученых, внесших большой вклад в развитие российской и мировой науки, в победу в Великой Отечественной войне. При этом в процессе изучения нового материала сообщения делает либо преподаватель, либо обучающиеся, получив предварительно соответствующее задание.

Однако в процессе такой работы, недооцениваются возможности задачного подхода, хотя решение учебных задач обладает более существенным потенциалом в развитии личностных качеств обучающихся. При этом к выделенным функциям учебных задач можно добавить – воспитательную функцию. В выявлении этой функции и состоит научная новизна данной работы.

При конструировании задач в их содержание вводилась в их содержание вводились военно-историческая и военно-техническая составляющие, при обязательном сохранении глубокого физического смысла задач. Далее в качестве примера приведем условие задачи с военно-патриотическим содержанием №1.

Пример №1. При освобождении города Орёл от немецко-фашистских захватчиков 5 августа 1943 года с бомбардировщика Пе-8 находящегося на высоте 2500 м была сброшена авиационная бомба ФАБ-5000НП, масса которой составляла 5400 кг. Это была крупнейшая бомба того времени, созданная коллективом молодых инженеров под руководством главного конструктора Нильсона Ильича Гальперина. Опре-

делите кинетическую энергию, которую имела бомба в момент касания Земли. Какова дальность полёта бомбы, если в момент бомбометания самолёт летел со скоростью 360 км/ч?

Для решения данной задачи нужно знать и понимать законы движения тел брошенного горизонтально, для нахождения кинетической энергии бомбы – применить закон сохранения механической энергии:

$$m * g * H = \frac{m * v^2}{2} = E_k$$

Условие задачи с военно-патриотическим содержанием №2.

Пример №2. На вооружении армии Вермахта в качестве батальонного миномёта состоял 81-мм миномёт sGrW 34 (рис. 1), в Красной армии - 82-мм миномет образца 1941 года (рис.2). Ниже в таблице приведены их тактико-технические характеристики. Сравните дальность полёта мин выпущенных из них под углом 60° к горизонту. Сопротивлением воздуха пренебречь.



Рис. 1. 81-мм миномёт sGrW 34



Рис. 2. 82-мм батальонный миномет

Таблица 1

Тактико-технические характеристики миномётов

	81-мм миномёт sGrW 34	82-мм батальонный миномет
Калибр	81,4 мм	82 мм
Длина ствола	114 мм	132 мм
Длина канала ствола	103 мм	123 мм
Масса	56,7 кг	45 кг
Углы возвышения	400 – 900	450 – 850
Угол поворота	9° – 15°	5° – 10°
Максимальная дальность стрельбы	2400	3100
Масса мины	3,5 кг	3,4 кг

Данная задача – задача с избыточными данными.

Необходимо знать и понимать, что дальность полёта тела брошенного под углом к горизонту будет максимальной при угле в 45°. Взяв из таблицы значения максимальной дальности стрельбы миномётов, можно определить начальную скорость мин.

Далее используя формулу (1) можно определить дальность полета мины при любом угле  $\alpha$ .

$$s = \frac{v_0^2 * \sin 2\alpha}{g} \quad (1)$$

$$v_0^2 * \sin 2\alpha = s * g \Rightarrow v_0 = \sqrt{s_{max} * g}, \text{ т. к. } \sin 2\alpha = 1$$

Цель данной работы была достигнута. Опираясь на имеющиеся в этой области методические разработки, были сконструированы задачи с военно-патриотическим содержанием, составлен небольшой сборник задач по курсу общей физики (практическая значимость работы), разработаны методические рекомендации по конструированию задач и организации деятельности по их конструированию (теоретическая значимость работы).

В заключении отметим, что проведенный опрос студентов первого курса ЮТИ ТПУ, а также учащихся старших классов города позволяет утверждать о повышении интереса обучающихся к деятельности по решению задач по физике с военно-патриотическим содержанием в случае систематического использования таких задач.

Литература.

1. Полицинский Е.В. Развитие умений обучающихся осуществлять анализ в процессе решения задач / Е.В. Полицинский, Л.Г. Деменкова // Современные проблемы науки и образования. – 2014– № 6; URL: [www.science-education.ru/120-16592](http://www.science-education.ru/120-16592)
2. Полицинский Е.В. К организации деятельности по конструированию задач по физике / Е.В. Полицинский // Преподавание естественных наук, математики и информатики в вузе и школе: Материалы международной научно-практической конференции. Томск: Изд-во ТГПУ, 2008; С. 132 – 136.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ЭЛЕКТРОБЫТОВЫХ ПРИБОРОВ

*М.А. Гайдамак, ст. гр. 17Г41,*

*научный руководитель: Орлова К.Н., доцент кафедры БЖДЭ и ФВ*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел.: 8 (960) 960 6545,*

*E-mail: vip.trd777@mail.ru*

Электромагнитное излучение (электромагнитные волны) – распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля (то есть, взаимодействующих друг с другом электрического и магнитного полей).

Из числа электромагнитных полей, порожденных электрическими зарядами и их перемещением, принято относить непосредственно к излучению ту часть переменных электромагнитных полей, которая способна распространяться по мере увеличения расстояния от собственных источников – передвигающихся зарядов, затухая более медленно с расстоянием [1].

Слишком мало кто думает про то, что это такое электромагнитное излучение и как оно угрожает нашему организму. Мы ежедневно используем мобильные телефоны и розетки, постоянно мы подвергаем собственную жизнь опасности, сами того не подозревая [2–6].

Электромагнитные волны разделяются по частоте (либо длине волны) на 6 диапазонов: радиоволны (длинные, средние, короткие), инфракрасные, видимые, ультрафиолетовые, рентгеновские волны и  $\gamma$  – лучи [1], шкала приведена по мере возрастания частот, другими словами убывания длин волн.



Рис .1. Шкала электромагнитных волн [7]

Многие ученые признают загрязнение окружающей среды электромагнитным излучением актуальной проблемой. Велсь и ведутся исследования электромагнитного излучения разного рода [4-6, 8-9]. Нами тоже было проведено исследование, в котором мы измеряли индукцию магнитного поля от бытовых приборов [2, 3].

Секция 1: Актуальные проблемы физики

Измерения проводились датчиком измерения индукции магнитного поля LabQuest Vernier. Измерения индукции магнитного поля заносились в таблицу: Измерения индукции магнитного поля Земли приводятся в [мТл].

Таблица 1

Бытовой прибор	Марка мощность	Измерения магнитного поля, [мТл]										
		Расстояние										
		0,01м	00,1м	00,2м	00,3м	00,4м	00,5м	00,6м	00,7м	00,8м	00,9м	11,0м
Мобильный телефон в режиме ожидания	Lenovo A536, 2100Вт	00,0569	00,0561	00,0566	00,0571	00,0522	00,0521	00,0545	00,0459	00,0423	00,0358	00,0329
Мобильный телефон в режиме разговора	Lenovo A536	00,0659	00,0627	00,0626	00,0574	00,0633	00,0644	00,0628	00,0644	00,0633	00,0612	00,0600
Монитор	Samsung 713п, 34Вт	00,0497	00,0484	00,0052	00,0027	00,0067	00,0053	00,0055	00,0043	00,0057	00,0022	00,0021
Системный блок		00,0425	00,0508	00,0574	00,0633	00,0644	00,0628	00,0576	00,0423	00,0374	00,0081	00,0075
Электрический чайник	Braun, 2200Вт	00,0623	00,0244	00,0236	00,0226	00,0220	00,0211	00,0178	00,0089	00,0021	00,0057	00,0032
Розетка	220В	00,1307	00,1670	00,0529	00,0274	00,0623	00,0216	00,0197	00,0097	00,0052	00,0028	00,0026
Настольная лампа	100Вт	00,0269	00,0211	00,0189	00,0135	00,0121	00,0134	00,0075	00,0053	00,0075	00,0043	00,0038
Микроволновая печь	Samsung GE83KRQ S-3,2300Вт	00,0727	00,0646	00,0657	00,0453	00,0478	00,0433	00,0421	00,0450	00,0417	00,0210	00,0109
Электрическая плита	ЗВИ 415, 1500Вт	00,2081	00,210	00,1307	00,0890	00,0463	00,0129	00,0044	00,0053	00,0089	00,0031	00,0029
Холодильник	Indesit BA20, 1000Вт	00,0609	00,0452	00,0339	00,0258	00,0148	00,0078	00,0073	00,0032	00,0057	00,0021	00,0075
Стиральная машина	Samsung, 2100Вт	00,0612	00,0556	00,0331	00,0238	00,0149	00,0063	00,0085	00,0014	00,0083	00,0048	00,0038
Утюг	Bosch TDA 2315, 1800Вт	00,0261	00,0278	00,0131	00,0039	00,0079	00,0053	00,0047	00,0073	00,0026	00,0028	00,0025

Согласно анализу экспериментальных данных значений индукции магнитного поля, превышающих предельные, значения не наблюдались (предельным значением для населения обозначена индукция 0.8 мТл для 8 часового рабочего дня). Наблюдается снижение электромагнитного поля с удалением от электроприбора, при этом для большинства приборов было выявлено безопасное расстояние, то есть, то расстояние, на котором электромагнитное поле достигает фонового значения - 50 сантиметров. Для маломощных приборов - 20 см.

Однако для сотового телефона и микроволновой печи наблюдаются флуктуации (колебания) индукции магнитного поля и на исследуемом нами расстоянии данное снижение незначительно.

Это может быть обусловлено спецификой излученных данными приборами полей. То есть характерной для излучателей большой частоты - малой зона индукции (зона, где электрическое и магнитное поле действует отдельно, а электромагнитное поле еще не сформировано) и большой зоной распространения.

Таким образом, в дальнейших исследованиях для измерения электромагнитных полей будет использован датчик потока магнитного поля и увеличено расстояние, на котором измеряется магнитное поле.

В качестве выводов хочется отметить:

1. Выявлены значения индукции магнитного поля от электробытовых приборов и проведены сравнения с СанПиН 2.2.4.1191-03.

2. Выявлены зависимости индукции магнитного поля с увеличением расстояния от различных типов электробытовых приборов.

3. Наибольшую индукцию магнитного поля создает обычная розетка и электрическая плита.

4. Определено безопасное расстояние для каждого типа электробытового прибора (расстояние на котором регистрируется лишь фоновое значение магнитной индукции Земли).

Литература.

1. Медведева О.В., Орлова К.Н., Большанин В.Ю. Нейросетевые технологии алгоритмизации по определению радиационного облучения в повседневной жизни человека // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 10 – С. 17-20 url: [www.rae.ru/upfs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=5988](http://www.rae.ru/upfs/?section=content&op=show_article&article_id=5988) (дата обращения: 23.04.2015). Орлова К.Н., Гайдамак М.А. Количественный анализ электромагнитного излучения от бытовых приборов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 1 (в печати).
2. Гайдамак М.А., Орлова К.Н. Влияние электромагнитного излучения в быту на человека. В сборнике: Экология и безопасность в техносфере: Современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета. Томск, 2014. С. 376-378.
3. Орлова К.Н. Исследование уровня радиационной безопасности на территории города Юрги. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2011. № 6. С. 35-37.
4. Галева А.А., Ивкин А.Н., Соболева Э.Г. Оптический распределительный шкаф как источник электромагнитного излучения. В сборнике: Современное состояние и проблемы естественных наук сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. Томск, 2014. С. 118-120.
5. Теслева Е.П., Танчев М.О., Шмидт Ф.В. Исследование электромагнитного излучения беспроводной сети. В сборнике: Современное состояние и проблемы естественных наук сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. Томск, 2014. С. 72-74.
6. Теслева Е.П., Сорокин П.Д., Телицын А.А. Исследование электромагнитного излучения интерактивной доски. В сборнике: Современное состояние и проблемы естественных наук сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. Томск, 2014. С. 90-92.
7. <http://sverh-zadacha.ucoz.ru/ege/2009-9/2009-9.htm>.
8. Пчельник О.А., Нефёдов П.В. Электромагнитное излучение мобильных телефонов и риск для здоровья пользователей // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 10–10. – С. 1971-1975; URL: [www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10005949](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10005949) (дата обращения: 23.04.2015).
9. Электромагнитные поля и общественное здравоохранение: мобильные телефоны [Электронный ресурс]: Информационный бюллетень ВОЗ, 2011, №193. – Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/ru/index.html>.
10. Игишева А.Л., Литвиненко В.В., Соболева Э.Г. Исследование эффективной дозы облучения при рентгенологических обследованиях. В сборнике: Современное состояние и проблемы естественных наук сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. Томск, 2014. С. 83-85.

#### **АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ НАНОКЛАСТЕРОВ ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ В ЯЧЕЙКАХ ПАМЯТИ, ОСНОВАННОЙ НА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ**

*И.С. Замулин, аспирант, С.Л. Гафнер, д.ф.-м.н., доцент*

*Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, г. Абакан  
655000, Республика Хакасия, г. Абакан, ул. Ленина, 90*

*E-mail: zamulin\_ivan@mail.ru*

С позиции эволюции систем хранения информации, наибольший интерес, кроме активно используемых сейчас магнитных, оптических, DRAM (динамическая память с произвольным доступом) и flash сред, представляет память на фазовых переходах (Phase-change memory – PCM) [1]. Принцип действия PCM основан на том, что некоторые материалы под действием внешних факторов (например, термических) способны достаточно быстро менять фазу своего стабильного состояния. На текущий момент в качестве такого материала используется халькогенид, на основе сплава Ge-Sb-Te, который при нагревании может переходить из аморфного состояния в кристаллическое и наоборот [2].

Процесс записи, хранения и чтения информации в РСМ основан на изменении электрического сопротивления малых элементов халькогенидного сплава при обратимом фазовом переходе. Активный материал элемента памяти, находящийся в аморфной фазе, обладает высоким сопротивлением. А в поликристаллическом наоборот, относительно низким. Поддержание любой из фаз не требует электрической мощности, поэтому память является энергонезависимой [2].

Принцип записи РСМ построен на том, что некий носитель находится в кристаллическом состоянии, при записи информации лазерный луч кратковременным импульсом нагревает небольшой участок носителя до температуры выше его температуры плавления (рис. 1). После прекращения действия лазера температура разогретого участка с типичным сейчас размером около 100 нм начинает резко падать со скоростью отвода тепла в окружающие холодные слои материала более  $10^9$  К/с. При такой сверхвысокой скорости охлаждения участок кристаллизуется в аморфную фазу, обладающую иными по сравнению с кристаллическим участком оптическими, электрическими и некоторыми другими свойствами. Таким образом, происходит запись одного бита информации.

Для стирания этого бита необходимо вновь расплавить данный участок носителя до более низкой температуры рекристаллизации и дождаться полного перехода аморфной фазы в кристаллическую. Однако очень немногие материалы обладают всеми необходимыми для этого свойствами,

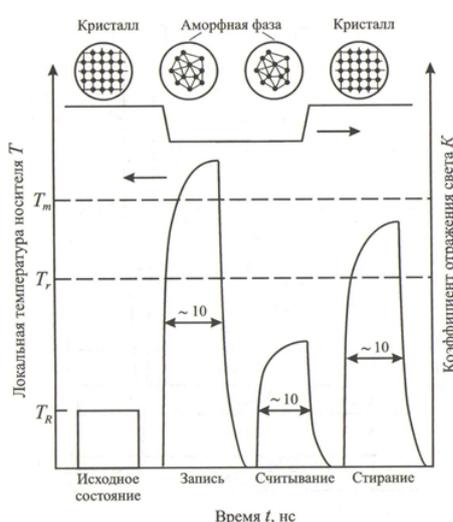


Рис. 1. Принципиальная схема записи, считывания и стирания информации в среде, испытывающей ФП.  $T_m$ ,  $T_r$ ,  $T_R$  – температура плавления, рекристаллизации и окружающей среды соответственно [3]

том Андерсона [4]. Для вычисления сил, действующих между атомами, использовался модифицированный потенциал сильной связи (tight-binding) [5] с фиксированным радиусом обрезания соответствующим пятой координационной сфере включительно. Данные потенциалы, разработанные Клеры и Розато, очень хорошо зарекомендовали себя при моделировании систем в кристаллическом состоянии и прошли подробную успешную проверку [5] по многим показателям.

Нанокластеры изучаемых металлов, диаметром от 1,6 до 10,0 нм, находящиеся в расплавленном состоянии ( $T = 1850$  К) были плавно охлаждены со скоростями 0,05; 0,025 и 0,005  $\text{пс}^{-1}$ , что соответствовало времени охлаждения структур в 0,2; 0,5 и 2,0 нс. Моделируемая скорость охлаждения соответствовала или несколько превышала ту скорость отвода тепловой энергии, что технически уже существует сейчас в устройствах памяти с изменением фазового состояния носителя. Для того чтобы наиболее точно определить какой-либо из термодинамических параметров кластеров необходимо, прежде всего, минимизировать взаимодействие между частицей и окружающей его средой. Исходя из этого предположения, рассматривались так называемые «свободные» или изолированные кластеры, помещенные в тепловой резервуар, заполненный виртуальными частицами и не взаимодействующие с подложкой.

т.е. способностью сохранять аморфное состояние при комнатной температуре длительное время, плавиться и рекристаллизоваться в течение малого промежутка времени (порядка нескольких наносекунд) и т.д. В используемом на текущий момент для данной цели тройном сплаве GeSbTe, все основные процессы записи или уничтожения информации составляют порядка 10 нс [3]. Дальнейшая эволюция данной методики создания энергонезависимых массивов информации требует иных технических решений, и, в частности, уменьшения области носителя предназначенного для хранения одного бита до нескольких нанометров и сокращения времени доступа. Однако для этого, в первую очередь, необходимо детальное исследование процессов, происходящих при записи информации в таком малом объеме и временном интервале.

Поэтому основной задачей в представляемой работе было подробное изучение возможности использования металлических кластеров Pt и Pd в качестве единичных битов информации в устройствах долговременной памяти, построенных на принципе изменения фазового состояния носителя. Исследование по структурообразованию нанокластеров платины и палладия было выполнено в рамках микроканонического ансамбля, основанного на взаимодействии с термоста-

Процесс охлаждения, с использованием различных скоростей, проходил при взаимодействии образца с виртуальными частицами термостата Андерсена вплоть до его охлаждения к комнатной температуре ( $T = 300$  К). Данная температура была выбрана, как наиболее распространённая для использования и хранения данных в наноустройствах. Приведенная ниже процентная вероятность появления той или иной структуры означает, что такой структурой в целом обладает некоторое количество отдельных кластеров из рассмотренного в процессе моделирования ансамбля кластеров одинакового диаметра.

На первоначальном этапе моделирования взаимодействия наноструктур с термостатом Андерсена, были рассмотрены нанокластеры платины различного диаметра. В результате охлаждения в кластерах наблюдались четыре фазы – это ГЦК, декаэдр, икосаэдр и аморфная (рис. 2). В ходе исследования было замечено довольно частое появление для кластеров большого размера дефектных структур, а также двойникования, т.е. в одном кластере может находиться две и более одинаковые или разные структуры без четкой границы между ними. В таком случае, возможность определения, к какой из исследуемой структуре относится тот или иной кластер, как методом CNA [6] так и при помощи функции радиального распределения, становится более затруднительным.

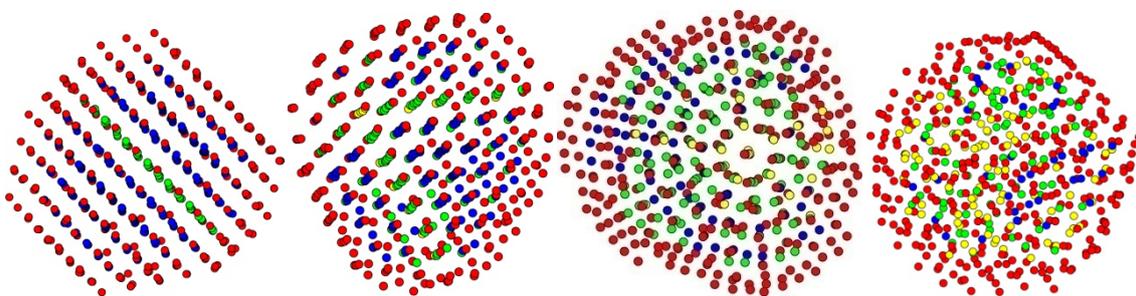


Рис. 2. Кластер Pt ( $N=555$ ) охлажденный за  $t=2,0$  нс с образованием, слева направо, ГЦК, Dh, Ih и аморфной фаз

Рассмотрим различия в поведении всех кристаллических фаз (ГЦК + Dh + Ih) и аморфной фазы, при разных скоростях охлаждения (рис. 3). Как видно из представленных графиков с увеличением времени охлаждения нанокластеров платины вероятность проявления аморфной фазы постепенно снижается, и при времени охлаждения в 2,0 нс при больших диаметрах ( $D > 8,0$  нм) проявление данной фазы замечено не было. В случае самой большой из исследуемых нами скоростей ( $t = 0,2$  нс) видно ярко выраженное разграничение между фазами на всем интервале исследуемых размеров наноструктур. Кроме того, из анализа полученных зависимостей легко увидеть, что если еще уменьшить время охлаждения наночастиц платины, например до 0,1 нс, то можно добиться полного исчезновения кристаллической фазы в данном металле. Таким образом, с помощью изменения скорости охлаждения наночастиц Pt можно регулировать переход их либо в кристаллическую структуру, либо в аморфную. Такое поведение нанокластеров платины может быть пригодной для использования их в качестве ячеек памяти, основанной на фазовых переходах.

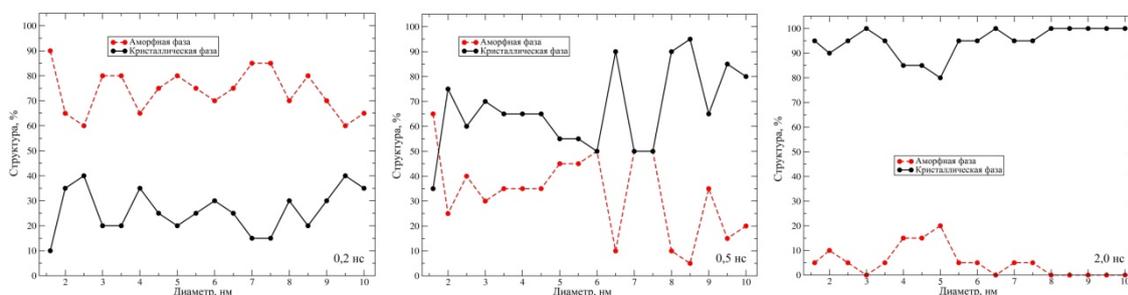


Рис. 3. Графики зависимости структурных конфигураций аморфной и кристаллических фаз от диаметра наночастиц платины

Закономерности, отмеченные у нанокластеров Pt, в дальнейшем были проверены у наноструктур палладия того же диаметра ( $D = 1,6 - 10,0$  нм) и при том же времени охлаждения (0,2; 0,5 и 2,0

нс). Результаты проводимого нами компьютерного эксперимента по охлаждению наночастиц Pd тремя различными скоростями приведены на рис. 4. Моделирование процессов структурообразования кластеров палладия показало, так же как и в случае с платиной, значительную зависимость их поведения, как от скорости охлаждения, так и от размеров исследуемой системы.

На рис. 4 представлены различия между кристаллической и аморфной фазами при разных скоростях охлаждения. Анализ результатов моделирования показал, что с увеличением времени охлаждения вероятность проявления аморфной фазы снижается, вплоть до почти полного исчезновения при  $t = 2,0$  нс. Таким образом, если предположить возможность использования нанокластеров палладия в качестве ячеек памяти, основанной на фазовых переходах, то для получения кристаллической структуры необходимо охлаждать кластер до твердого состояния со временем больше 2,0 нс. Относительно получения стабильной аморфной фазы говорить достаточно сложно, моделирование наноструктур не выявило строго определенную скорость, выше которой наблюдалось бы почти полное отсутствие кристаллической структуры, как в нанокластерах платины.

Зато можно говорить о том, что при времени охлаждения в 0,2 нс и наночастицах диаметром от 7,0 до 10,0 нм вероятность сформировать у частиц данного размера аморфную фазу достаточно высока. Можно утверждать, что с использованием частиц Pd этого размера, но с большей скоростью охлаждения, порядка  $t = 0,1$  нс должна формироваться исключительно аморфная фаза. Таким образом, использование палладия в качестве элемента памяти на фазовых переходах допустимо, но только с ограничением размера элемента не меньше 7,0 нм в диаметре, что накладывает ограничения на использования данного материала в устройствах хранения информации.

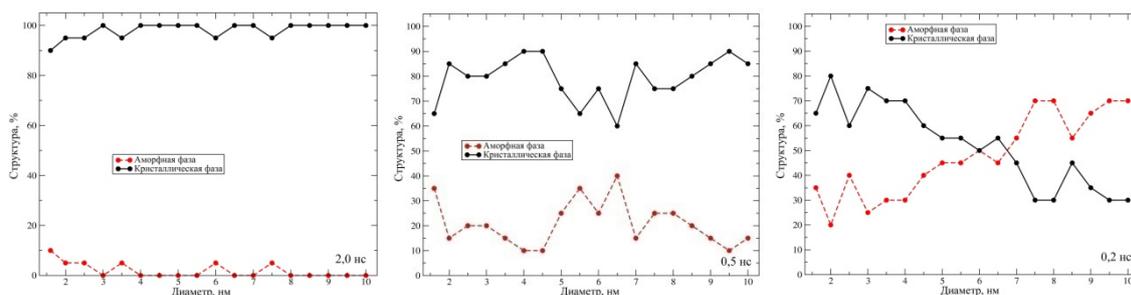


Рис. 4. Графики зависимости структурных конфигураций аморфной и кристаллических фаз от диаметра наночастиц палладия

Проведенное МД моделирование показало, что оптимальным материалом в качестве «сырья» для элементов памяти, основанных на фазовых переходах, состоящих из чистых металлов (без наличия примесей) является платина. Данный материал обладает достаточно хорошим разграничением между аморфным состоянием и кристаллическим при разной скорости охлаждения, что не наблюдается при моделировании палладия и никеля, меди, золота [7]. Для изготовления ячеек памяти оптимальным является диапазон размеров частиц от 2,0 до 9,0 нм включительно, кластеры данного диаметра обеспечат сохранность записанной с их помощью данных.

Литература.

1. Wong H.-S.P.; Raoux S.; Kim S.B.; Liang J., et al. Phase Change Memory. // Proceedings of the IEEE. – 2010. – V. 98. – № 1. – P. 2201 – 2227.
2. Andrea L.L., Dirk J.W. Phase-change memories. // Phys. stat. sol. (a). – 2008. – V. 205. – № 10. P. 2281 – 2297.
3. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. – М.: Машиностроение, 2007. – 496 с.
4. Andersen H.C. Molecular dynamics simulations at constant pressure and/or temperature. // J. Chem. Phys. – 1980. – V. 72. – P. 2384 – 2393.
5. Cleri F., Rosato V. Tight-binding potentials for transition metals and alloys. // Phys. Rev. B. – 1993. – V. 48. – P. 22 – 33.
6. Comsa G.H., Heitkamp D., Rade H.S. Effect of size on the vibrational specific heat of ultrafine palladium particles. // Solid State Commun. – 1977. – V. 24. P. 547 – 550.
7. Gafner, Yu. Ya.; Gafner, S. L.; Redel, L. V.; Goloven'ko Zh V. The Estimation of Possibility of Using Order–Disorder Transition Phenomena in Ni, Cu and Au Nanoclusters for Advancing the Efficiency of Information Recording Processes. // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2014. – V. 14. – № 7. – P. 5138 – 5144.

## РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ИНИЦИИРОВАНИЯ ВЗРЫВНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ КОМПОЗИТОВ ГЕКСОГЕН - НИКЕЛЬ ИМПУЛЬСОМ ЛАЗЕРА

Г.Э. Иващенко, студент, О.В. Одинцова, студент

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово  
Россия, 650043, г. Кемерово, ул. Красная 6, тел. (3842)-31-57-18

E-mail: kriger@kemsu.ru

Последние годы ученые проявляют повышенный интерес к использованию наночастиц в различных отраслях промышленности. Сенсибилизация наноразмерными металлами бризантных взрывчатых веществ позволяет повысить их чувствительность к лазерному излучению более чем в 100 раз [1] при неизменном пороге инициирования ударом. Одним из наиболее используемым в промышленности бризантным взрывчатом веществом является гексоген (RDX, T4), однако закономерности инициирования этого материала, содержащего светопоглощающие наночастицы металла, лазерным излучением не исследованы. В работе [2] показано, что наночастицы никеля в матрице пентаэритрита-тетранитрата (тэн) имеют высокий коэффициент эффективности поглощения для излучения первой (основной) гармоники неодимового лазера. Близость оптических свойств тэна и гексогена (показатель преломления: 1.54 в тэне и 1.5 – в гексогене.) позволяет предполагать, что наночастицы никеля в гексогене также будут обладать высоким коэффициентом эффективности поглощения, а критическая плотность энергии инициирования композитов на их основе будет иметь относительно небольшие значения, позволяющие использовать этот материал в капсулах оптических детонаторов [3-5]. Поэтому расчет чувствительности нанокompозитов гексоген-никель по отношению излучения первой гармоники неодимового лазера представляет большой интерес. Целью работы является моделирование процессов взрывного разложения нанокompозитов гексоген – никель облученных импульсом неодимового лазера, определение минимальной (критической) плотности энергии инициирования.

### Методика расчета коэффициентов эффективности поглощения и рассеивания

Методика расчета коэффициентов эффективности поглощения ( $Q_{abs}$ ) и рассеивания ( $Q_{sca}$ ) сферическим включением радиуса ( $R$ ) в рамках теории Ми описана в работе [6]. Согласно результатам экспериментального исследования композитов тэн-алюминий [7-8], среднее расстояние между наночастицами алюминия при котором наблюдается минимальная плотность энергии, составляет  $\sim 2$  мкм.

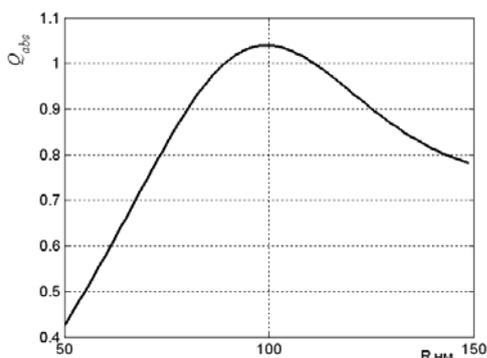


Рис. 1. Рассчитанная зависимость коэффициентов эффективности поглощения наночастиц никеля от их радиуса на первой гармонике неодимового лазера в матрице гексогена

при больших –  $Q_{abs}$  уменьшается с затухающими осцилляциями.

### Модель разогрева включений лазерным излучением

Система дифференциальных уравнений, описывающих процессы кондуктивного теплопереноса в наночастице и в среде сферической симметрии, а также тепловыделение за счет химического разложения энергетического материала имеет вид [10]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= \alpha \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{2}{x} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + k_0 \frac{nQ}{c} \cdot \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right), x > R \\ \frac{\partial n}{\partial t} &= -k_0 n \cdot \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right), x > R, n = 1, \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= \alpha_M \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{2}{x} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right), x < R. \end{aligned} \quad (1)$$

Где  $T$  – температура,  $E$  – энергия активации процесса разложения,  $k_0$  – предэкспонент,  $Q$  – тепловой эффект реакции,  $\alpha$  и  $\alpha_M$  – коэффициенты температуропроводности материалов матрицы и включения,  $R$  – радиус включения,  $n$  – относительная концентрация реагента (ВВ).

Скорость разложения лимитируется уравнением Аррениуса, учитывается расход вещества. Использование сферической симметрии обусловлено тремя факторами. Первое: лазерное излучение претерпевает многократные отражения на границах зерен и наночастицах металлов [11], поэтому каждый из квантов света испытывает несколько актов отражения и происходит существенное усреднение освещенности по направлениям [12]. Второе: хотя нагревание осуществляется преимущественно с передней грани, но малые размеры наночастицы и особенно большое значение коэффициента температуропроводности приводит к практически постоянной температуре в наночастице. Третье: особенности поглощения лазерного монохроматического света с длиной волны 1064 нм (наиболее мощный на сегодняшний день неодимовый лазер) на порядок большей радиуса наночастицы проявляются в практически объемном характере поглощения в наночастицах никеля [2]. Следовательно, возможные неточности, возникающие при использовании одномерной сферической системы координат, компенсируются возможностью точного расчета кинетики процесса за счет использования разностной схемы с малым шагом по координате.

На границе включения – матрица  $x=R$  происходит поглощение излучения, что приводит к следующему граничному условию:

$$J(t) - c_M \alpha_M \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x \rightarrow R-0} + c \alpha \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x \rightarrow R+0} = 0 \quad (2)$$

где  $c$  и  $c_M$  – объемная теплоемкость матрицы и материала включения,  $J(t)$  – поглощаемая плотность мощности излучения лазерного импульса. Моделирование процессов взрывного разложения системы при лазерном разогреве наночастиц проводили при следующих значениях параметров гексогена:  $c = 2.261$  Дж/см<sup>3</sup>К,  $\alpha = 0.446 \cdot 10^{-3}$  см<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>,  $E = 197.3$  кДж/(моль·К),  $k_0 = 2.02 \cdot 10^{18}$  с<sup>-1</sup>,  $Q = 3.792$  КДж/см<sup>3</sup> [13]. Теплоемкость никеля  $c_M = 3.95$  Дж/см<sup>3</sup>К, температуропроводность –  $\alpha_M = 0.23$  см<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>. На границе никель–ВВ ( $x=R$ ) происходит поглощение излучения, что приводит к граничному условию:

$$J(t) = \sqrt{\pi} \cdot Q_{abs} R^2 k_i H_0 \cdot \exp(-k_i^2 t^2), \quad (3)$$

где  $k_i = 1.387 \cdot 10^7$  с<sup>-1</sup> – параметр, определяющий длительность импульса (соответствует длительности импульса на полувысоте 12 нс),  $Q_{abs}$  – коэффициент эффективности поглощения, зависящий от радиуса включения и природы матрицы. На границе рассматриваемой области (наночастица и слой энергетического материала толщиной  $7R$ ) задавалось условие первого рода  $T=300$  К [3-10].

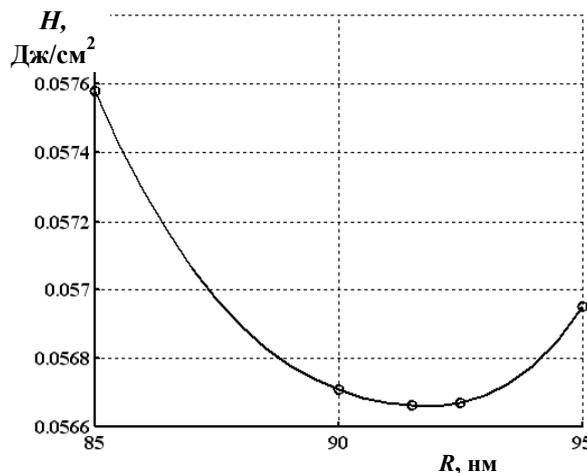


Рис. 2. Рассчитанная зависимость критической плотности энергии от радиуса наночастицы никеля в гексогене вблизи максимума эффективности поглощения

Определение минимальной плотности энергии инициирования взрывного разложения гексогена, содержащего наночастицы никеля, проводилось следующим образом:

1. Рассчитывалась зависимость коэффициента эффективности поглощения от радиуса частицы, определялся размер частицы, имеющий максимальный коэффициент эффективности поглощения.

2. По уравнениям (1-3) рассчитывалась минимальная для данного радиуса наночастицы никеля плотность энергии импульса, инициирующего взрывное разложение ( $H(R)$ ). Расчет проводился до тех пор, пока минимальная плотность энергии, приводящая к взрыву ( $H_{\min e}$ ), отличалась от максимальной плотности энергии, не приводящей к взрыву ( $H_{\max d}$ ), не более чем на 0.01 %.

3. Значения радиусов частицы, при которых производился расчет  $H(R)$ , выбирались, пока соответствующие им  $H$  не образуют ряд с выраженным минимумом. Далее определилось положение минимума и в нем рассчитывалась критическая плотность энергии. Процедура шага 1-3 повторялась, пока точность определения критического радиуса частицы не достигнет 0.1 нм.

На рис. 2 представлена рассчитанная, по методике указанной выше, зависимость критической плотности энергии от радиуса наночастиц никеля в гексогене. Наименьшее значение  $H_c$  для композита никель-гексоген составляет 56.6 мДж/см<sup>2</sup>, и наблюдается для радиуса наночастицы никеля 91.55 нм. Рассчитанное значение близко к оптимальным радиусам наночастиц в тэне: меди (94 [4]), хрома (94 [14]), алюминия (98 [15]), кобальта (94 [15]) и никеля (92 [15]). Проведенные расчеты позволяют сделать вывод, что композит гексоген - никель являются перспективным материалом для использования его в качестве капсулей оптического детонатора.

*Авторы выражают глубокую благодарность научному руководителю профессору А.В. Каленскому. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госзадание № 2014/64).*

Литература.

1. Ananyeva, M.V. Comparative analysis of energetic materials explosion chain and thermal mechanisms / M.V. Ananyeva, V.G. Kriger, A.V. Kalenskii et al // Известия ВУЗов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11-3. – С. 13 - 17.
2. Zvekov, A.A. Regularities of light diffusion in the compo site material pentaery thriol tetranitrate – nickel / A.A. Zvekov, M.V. Ananyeva, A.V. Kalenskii and others // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2014. – Т. 5. – №5. – С. 685-691.
3. Каленский, А.В. Взрывная чувствительность композитов тэн-алюминий к действию импульсного лазерного излучения / А.В. Каленский, И.Ю. Зыков, М.В. Ананьева и др. // Вестник КемГУ. – 2014. – № 3-3 (59). – С. 211-217.
4. Никитин, А.П. Расчет критических параметров инициирования теплового взрыва тэна с наночастицами меди на разных длинах волн / А.П. Никитин // Современные фундаментальные и прикладные исследования. – 2013. – №4(11). – С. 68-75.
5. Адуев, Б.П. Микроочаговая модель лазерного инициирования взрывного разложения энергетических материалов с учетом плавления / Б.П. Адуев, М.В. Ананьева, А.А. Звеков и др.// Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50, – № 6. – С. 92-99.
6. Зыков, И.Ю. Учет эффективности поглощения при разогреве нановключений лазерным излучением / И.Ю. Зыков // Международное научное издание Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2012. № 3-6. С. 43-50.
7. Адуев, Б.П. Взрывчатое разложение ТЭНа с нанодобавками алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны / Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, Р.И. Фурега и др. // Химическая физика. – 2013. – Т. 32. – № 8. – С. 39-42.
8. Каленский, А.В. Влияние длины волны лазерного излучения на критическую плотность энергии инициирования энергетических материалов / А.В. Каленский, А.А. Звеков, М.В. Ананьева и др. // Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50. – № 3. – С. 98-104.
9. Каленский, А.В. Спектральная зависимость критической плотности энергии инициирования композитов на основе пентаэритриттетранитрата с наночастицами никеля / А.В. Каленский, М.В. Ананьева и др.// Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2014. – Т.11. – №3. – С. 340-345.
10. Kalenskii, A.V. Spectral regularities of the critical energy density of the pentaerythriol tetranitrate-aluminium nanosystems initiated by the laser pulse / A.V. Kalenskii, M.V. Ananyeva // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2014. – Т. 5. – № 6. – С. 803-810.
11. Звеков, А.А. Моделирование распределения интенсивности в прозрачной среде с Френелевскими границами, содержащей наночастицы алюминия / А.А. Звеков, А.В. Каленский, А.П. Никитин и др. // Компьютерная оптика. 2014. Т. 38. № 4. С. 749-756.

12. Адуев, Б.П. Исследование оптических свойств наночастиц алюминия в тетранитропентаэритрите с использованием фотометрического шара / Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, Г.М. Белокуров и др // ЖТФ. 2014. Т. 84. № 9. С. 126 - 131.
13. Физика взрыва / под ред. Орленко Л. П.. М.: Наука, 2004. Т. 1. 832 с.
14. Никитин, А.П. Расчет параметров инициирования взрывного разложения тэна с наночастицами хрома / А.П. Никитин// Современные фундаментальные и прикладные исследования. – 2013. – №2 (9). – С. 29-34.
15. Ананьева, М.В. Кинетические закономерности взрывного разложения ТЭНа, содержащего наноразмерные включения алюминия, кобальта и никеля / М.В. Ананьева, А.В. Каленский, Е. А. Гришаева и др. // Вестник КемГУ. – 2014. – №1-1 (57). – С. 194-200.

### **ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ЗОЛОТА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАВЛЕНИЯ И ВНУТРЕНнюю СТРУКТУРУ НАНОКЛАСТЕРОВ CuAu**

*А.В. Комзолаков, магистр кафедры ТФИТО, В.С. Байдышев, к.ф.-м.н.*

*Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,*

*E-mail: alekseikomzolakov@mail.ru*

В последнее время большое внимание уделяется исследованию объектов построенных из структурных элементов нанометрового масштаба, таких как нанокристаллы, тонкие пленки, наночастицы и нанокластеры. Необходимость наделения средств связи, электронной и компьютерной техники все большими качественными и количественными функциональными возможностями при сохранении или даже уменьшении размеров операционных устройств заставляет исследователей искать пути минимизации базовых структурных элементов, применяемых при их производстве. На современном этапе уже возможна разработка технологических блоков размером всего несколько десятков нанометров. Это, в свою очередь, стимулирует дальнейшее, бурное развитие физики наночастиц (нанокластеров), т.е. атомно-молекулярных соединений включающих в себя от десятков атомов (молекул) до нескольких их тысяч.

Хорошо известно, что металлические наночастицы могут проявлять необычные оптические, тепловые, химические и физические свойства. Основными критическими параметрами, влияющими на все эти физико-химические особенности поведения, кроме собственно размера наночастицы, являются ее форма и структура, что требует от нанотехнологий целенаправленного контроля данных величин [1, 2].

В последнее время большой интерес вызывают металлические нанокластеры двух или более металлов (наносплавы), это связано с широкими возможностями их применения в ряде областей нанотехнологии. Они могут быть использоваться для создания сложных наноразмерных устройств, в частности, инструментов для хранения данных с высокой плотностью, сверхчувствительных биохимических сенсоров, катализаторов. Бинарные сплавы на основе золота, такие как AuCu и AuNi находят широкое применение в самых различных областях промышленности. В частности твердые растворы AuCu используются в качестве припоев в микроэлектронике, а в космических и ракетных технологиях для особо прочной пайки применяются припои AuNi. В связи с этим исследование бинарных нанокластеров представляет собой важную задачу физического материаловедения [3].

Одним из важных параметров нанокластеров, является значение температуры плавления. Понижение температуры плавления малых частиц было высказано Дж. Томсоном, который установил, что температура плавления частиц уменьшается обратно пропорционально ее радиусу. Теоретически данная проблема была корректно рассмотрена П. Павловым. Данный размерный эффект имеет не только научный, но и прикладной интерес. Например, в процессе пайки или спекания порошков их частицы нагреваются до начала коалесценции. Если порошки являются высокодисперсными, то требуется более низкая температура пайки или спекания. Кроме того, понижение температуры плавления важно для микро- и нанoeлектроники, где используются миниатюрные рабочие элементы, так как температура плавления определяет область нормального функционирования и стабильности соответствующих элементов [4].

Имеется достаточно большое количество работ, посвященных компьютерному анализу структуры наночастиц, в том числе и металлических. Однако большинство проводимых расчетов были сфокусированы, в основном, на поиски структуры с наименьшей энергией при абсолютном нуле температур. Данный подход представляется не совсем реалистичным, так как нанокластеры, используемые в различных областях нанотехнологий, эксплуатируются при значительно более высоких

температурах и энтропийный фактор может привести к изменению равновесной структуры с увеличением температуры.

Кроме того, знание деталей формирования кластерной структуры является определяющим для повышения эффективности различных способов производства нанокластеров [4], однако, полной ясности в понимании процесса формирования той или иной структурной модификации до сих пор нет.

Таким образом, основной целью данного исследования являлось изучение влияния примеси золота на температуру плавления и образования внутренней структуры нанокластеров CuAu.

Для проведения моделирования методом молекулярной динамики была использована компьютерная программа MDNTP, разработанная Dr. Ralf Meyer, Universitat Duisburg Germany. Для вычисления сил, действующих между атомами, использовался модифицированный потенциал сильной связи [5] с фиксированным радиусом обрезания, соответствующим пятой координационной сфере включительно. Данные потенциалы широко применяются при различного рода компьютерном моделировании, как макроскопических тел, так и кластеров и на сегодняшний день являются одними из основных потенциалов для расчета свойств металлических нанокластеров. Данные потенциалы разработанные Клери (*Cleri*) и Розато (*Rosato*) [5] успешно применены в целом ряде кластерных исследований.

Температура в процессе МД моделирования определялась посредством средней кинетической энергии атомов, которая рассчитывалась на основе скоростного алгоритма Верлете [6] с шагом по времени  $h = 1$  фс. Точки плавления кластера фиксировались по скачку потенциальной энергии как функции температуры, что приводит к возрастанию теплоемкости в очень узкой температурной области вокруг точки перехода. Данный подход достаточно широко используется при компьютерной имитации процессов плавления (кристаллизации) металлических нанокластеров и позволяет довольно точно локализовать их начало [4]. При проведении компьютерного анализа в качестве начальных объектов были использованы сферические кластеры меди. Процесс моделирования происходил в рамках канонического ансамбля, для которого число частиц  $N$ , объем  $V$  и температура  $T$  остаются постоянными ( $NVT$ -ансамбль), а полный импульс системы  $p$  равен нулю, для чего систему погружают в тепловой резервуар – термостат Нозе [7] путем введения случайной силы, моделирующей столкновения с виртуальными частицами. Преимуществом этой методики является очень хорошая стабилизация фиксированного значения температуры с отклонениями от него, как правило, не более одного процента. Количество атомов золота в нанокластерах меди изменялось от 0 до 25% от общего числа атомов кластера.

На первом этапе проведенного исследования изучалось влияние легирования золотом на температуру плавления нанокластеров CuAu. Рассматривались кластеры с числом атомов 201, 369, 555, 791, 1505, 1865, 2243, имеющие первоначальную идеальную ГЦК структуру. С использованием термостата Нозе кластеры плавно нагревались от 300 до 1500 К, что выше их температуры плавления, с целью разрушения дальнего порядка. В работе [8] показано, что температура плавления кластеров CuAu с количеством атомов 555, 791, 1505, 1865, 2243 уменьшается, при увеличении концентрации атомов Au.

Для кластеров размером  $N=369$  атомов наблюдались скачки температуры плавления при различной концентрации золота, а для кластера содержащего  $N=201$  атом происходило увеличение температуры плавления при возрастании концентрации атом золота (рис. 1).

В работе [4] показано, что при нагревании 201-атомного нанокластера меди происходит спонтанный переход от ГЦК к икосаэдрической фазе, который сопровождается резким понижением потенциальной энергии кластера. Данное превращение наблюдается только для кластеров меди, содержащих не более 200 – 250 атомов, при дальнейшем повышении размера кластера стабильной становится ГЦК структура, которая сохранялась вплоть до температуры плавления. Для кластеров сплава CuAu, так же наблюдалось данное превращение. Кроме того, при увеличении концентрации золота в данном кластере, структурный переход от ГЦК структуры к икосаэдрической структуре смещается в сторону более низких температур.

Поведения кластера CuAu размером 369-атомов при различной концентрации Au было детально рассмотрено в работе [9]. Основной вывод состоит в следующем, что повышение температуры плавления в данном кластере происходит из-за появления икосаэдрической модификации, что не наблюдалось у кластеров из чистой меди данного размера.

На втором этапе моделирования были исследованы кластеры с количеством атомов  $N=381$  и  $N=429$  для определения предельного размера, при котором еще возможно наблюдение икосаэдрической модификации.

Для данных кластеров структурного превращения ГЦК-икосаэдр не происходило. Таким образом, можно утверждать, что кластер содержащий  $N=369$  атомов является предельным, в котором еще возможен переход ГЦК-икосаэдр.

Для кластера содержащего  $N=429$  атомов наблюдалось плавное уменьшение температуры плавления при увеличении концентрации Au.

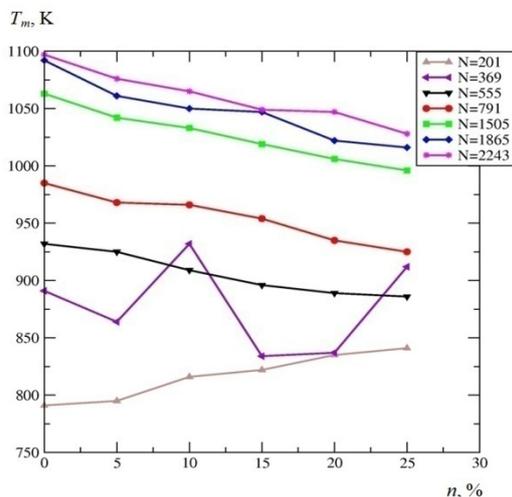


Рис. 1. График зависимости температуры плавления  $T_m$  нанокластеров сплава меди и золота разного размера от концентрации золота  $n$

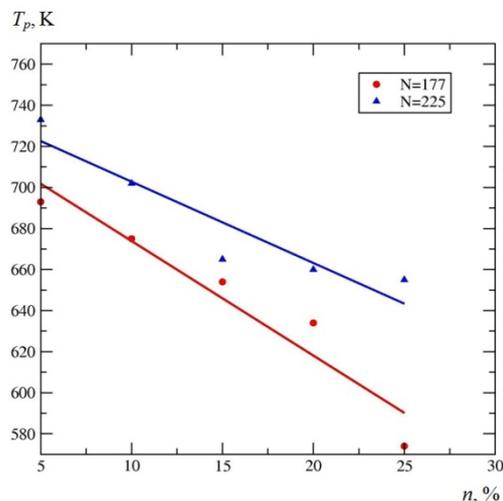


Рис. 2. График зависимости температуры структурного перехода  $T_p$  ГЦК-икосаэдр нанокластеров меди (177, 225) от концентрации золота  $n$

На третьем этапе моделирования рассматривалось поведение кластеров малых размеров  $N=135, 177, 225$  атомов. Для частиц данного размера отмечался структурный переход ГЦК – икосаэдр уже на этапе первичной релаксации, при температуре 300 К. Для кластера содержащего  $N=135$  атомов наблюдалось уменьшение температуры плавления с увеличением концентрации золота.

При нагревании кластеров размером  $N=177, N=225$  атомов структурный переход ГЦК-икосаэдр происходит при температуре близкой к температуре плавления. При увеличении концентрации золота структурный переход смещается в сторону более низких температур (рис. 2). На наш взгляд, такое различие в температуре структурного перехода связано с разной энергией связи атомов меди и золота. Энергия связи атомов меди имеет большее значение, чем между атомами золота. По всей видимости, при легировании золота в нанокластеры меди мы уменьшаем общее значение энергии связи в кластере. Именно из-за этого кластеру с меньшей концентрацией золота требуется большее значение кинетической энергии, чтобы перестроить имевшийся в начале ГЦК кластер в структуру с четко определенным икосаэдрическим строением. Поэтому структурный переход ГЦК-икосаэдр, при увеличении концентрации золота, смещается в сторону более низких температур.

### Заключение

По результатам компьютерного моделирования методом МД процессов нагревания нанокластеров сплава CuAu с диаметром в интервале от 1,4 до 3,8 нм, можно сделать следующие выводы:

1. Легирование золота в нанокластеры меди с диаметром лежащем в пределе от 2,0 до 3,8 нм уменьшает температуру плавления  $T_m$  данного размера кластера.

2. При нагревании 201-атомного нанокластера меди происходит спонтанный переход от ГЦК-структуры к икосаэдрической фазе. При увеличении концентрации золота в данный кластер структурный переход ГЦК - икосаэдр смещается в сторону более низких температур.

3. При нагревании кластера CuAu содержащего  $N=369$  атомов формируется икосаэдрическая структура, что не наблюдалось у кластеров из чистой меди данного размера. Для кластера содержащего  $N=381$  атом данного структурного перехода не наблюдалось. Таким образом, кластер с  $N=369$  атомов является предельным, в котором еще возможен переход от ГЦК к структуре с пентагональной симметрией.

4. В малых кластерах CuAu с диаметром в интервале от 1,4 до 1,7 нм наиболее стабильной является икосаэдрическая структура, при увеличении концентрации золота температура плавления кластера увеличивается.

Литература.

1. Суздаев И.П., Суздаев П.И. Нанокластеры и нанокластерные системы. Организация, взаимодействия, свойства. // Успехи химии. – 2001. – Т. 70. – С.203 – 209.
2. Alayoglu S., Zavalij P., Eichhorn B., Wang et al Q. Structural and architectural evaluation of bimetallic nanoparticles: a case study of Pt-Ru core-shell and alloy nanoparticles // ACS Nano. – 2009. – V. 3. – I. 10. – P. 3127-3137.
3. кластеров Cu Ni , Cu Pd // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50. – № 7. – P. 1338-1342.
4. Zenin V., Ryaguzov A., Wojko V., Gal'cev V., Fomenko Yu. Pripoi i pokrytiya dlya bessvincovoj pajki izdelij mikroelektroniki // Technologii v elektronnoy pro-myshlennosti. 2005. №5. S.46-51.
5. Гафнер С.Л., Редель Л.В., Гафнер Ю.Я. Моделирование процессов структурообразования нанокластеров меди в рамках потенциала сильной связи. // ЖЭТФ. – 2009. - Т. 135. - № 5. – С. 899-916.
6. Cleri F., Rosato V. Tight-binding potentials for transition metals and alloys. // Phys. Rev. A. - 1993. - V. 48. - P. 22-33.
7. Chushak Y., Bartell L.S. Molecular dynamics simulation of the freezing of gold nanoparticles. // Eur. Phys. J. D. - 2001. - V. 16. - P. 43 — 46.
8. Nose S. A unified formulation of the constant temperature molecular dynamics methods. // J. Phys. Chem. – 1984. V. 81. – P. – 511-525.
9. Комзولاков А.В., Гафнер Ю.Я. Влияние примеси золота на температуру плавления нанокластеров меди. // Современное материаловедение: материалы и технологии новых поколений - сборник трудов Всероссийской школы-семинара с международным участием – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 179 - 182.
10. Комзولاков А.В., Гафнер Ю.Я. Влияние примеси золота на температуру плавления и на процессы образования внутренней структуры нанокластеров меди. // XI Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов». Москва. 19-19 сентября 2014 г. / Сборник материалов. – М:ИМЕТ РАН, 2014 — С. 58 – 60.

### СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В КОМПОЗИТЕ ТЭН-МГО

*В.А. Макарова, студент,*

*научный руководитель: Митрофанов А.Ю., к.ф.-м.н., доцент,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»*

*Россия г. Кемерово, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6*

*E-mail: viks\_\_@mail.ru*

В данной работе предпринята попытка оценить возможность создания композита энергетический материал – стабильная добавка, обладающего полосами поглощения близкими к длинам волн источников лазерного излучения и приводящим к переносу заряда с поверхности стабильной добавки на адсорбированную молекулу энергетического материала. Исследовались спектры диффузного отражения композита ТЭН-MgO. Исследуемый материал был получен смешиванием порошка оксида магния и тетранитропентаэритрита с последующем нагревом до 147°C (т.пл. ТЭНа= 141,3°C).

Спектры отражения композита сравнивались со спектрами отражения отдельных компонентов. Полученные спектры преобразовывались по методу Кубелке-Мунка.

В спектре поглощения смеси MgO и ТЭНа появляется длинноволновая полоса в районе 2.9 eV, отсутствующая в спектрах индивидуальных компонентов. Возникающая в смеси линия поглощения соответствуют переходу электрона с поверхности MgO на молекулу ТЭНа.

В связи с интересными возможностями практического применения во взрывных технологиях, лазерное инициирование уже на протяжении длительного времени привлекает интерес исследователей [1]. Крайне перспективным может являться реализация прямого фотовозбуждения энергетического материалов с получением неустойчивых частиц, распад которых, способен приводить к запуску самоподдерживающийся реакции взрывного разложения материала.

В данной работе оценена возможность создания композита энергетический материал – стабильная добавка, обладающего полосами поглощения близкими к длинам волн источников лазерного излучения и приводящим к переносу заряда с поверхности стабильной добавки на адсорбированную молекулу энергетического материала.

В [2] обнаружено, что при введении в ТЭН оксида магния происходит понижение порога лазерного инициирования. В работе [3] на основании квантово-химических расчетов делается предпо-

ложение, что понижение порога обусловлено хемосорбцией молекул ТЭНа на анионную вакансию на поверхности оксида магния. При этом должны возникать оптические переходы с энергией близкой к энергии кванта лазера.

В связи с вышеизложенным, целью работы являлось изучение изменения в спектре диффузного отражения композита ТЭН-MgO. Изучение композитных материалов дает возможность повышения эффективности фотоинициирования.

Оптические переходы с энергией близкой к энергии кванта лазера должны проявляться в спектрах поглощения композита ТЭН-MgO. В связи с этим, целью данной работы является изучение спектральных изменений в композите ТЭН-MgO.

В связи с непрозрачностью композита и невозможностью получить спектры поглощения, материал исследовался методом спектроскопии диффузного отражения. Спектры регистрировались с помощью сканирующего спектрофотометре Shimadzu UV-3600 оснащенного интегрирующей сферой ISR-3100 позволяющего регистрировать спектры диффузного отражения в диапазоне 190-2400 нм (0,5-6,5 eV). Порошки ТЭНа и MgO были смешаны и перетерты в агатовой ступке до однородной смеси, затем нагреты в сушильном шкафу до 147°C. Полученные спектры всех исследуемых объектов приводятся ниже. Для этого в углубление специальной формы-держателя формовалась таблетка из порошка исследуемого материала. В качестве стандарта используется сульфат бария. Спектры диффузного рассеяния были преобразованы с помощью функции Кубелки-Мунка.

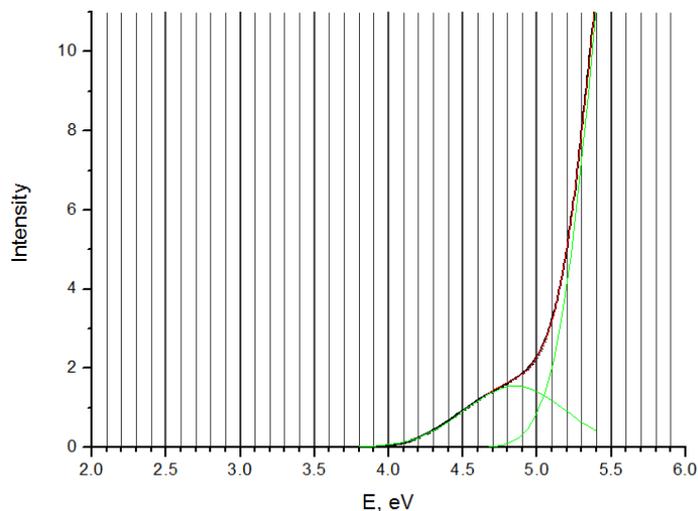


Рис. 1. Спектр отражения порошка ТЭНа

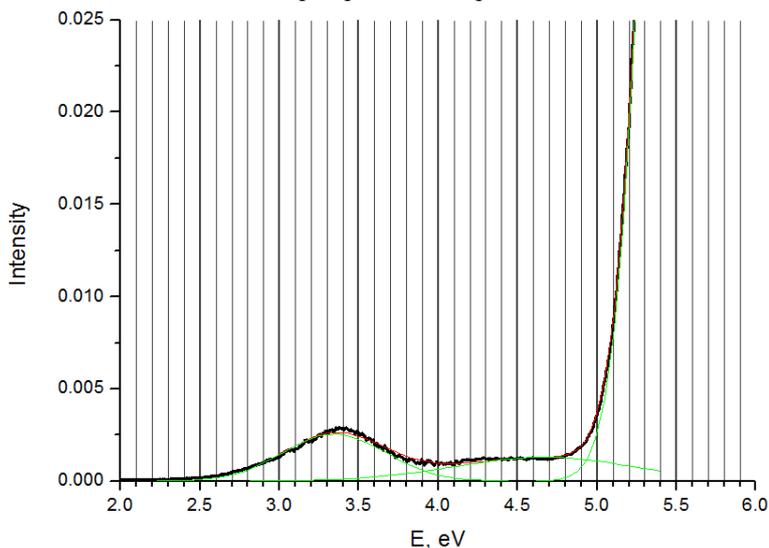


Рис. 2. Спектр отражения порошка оксида магния

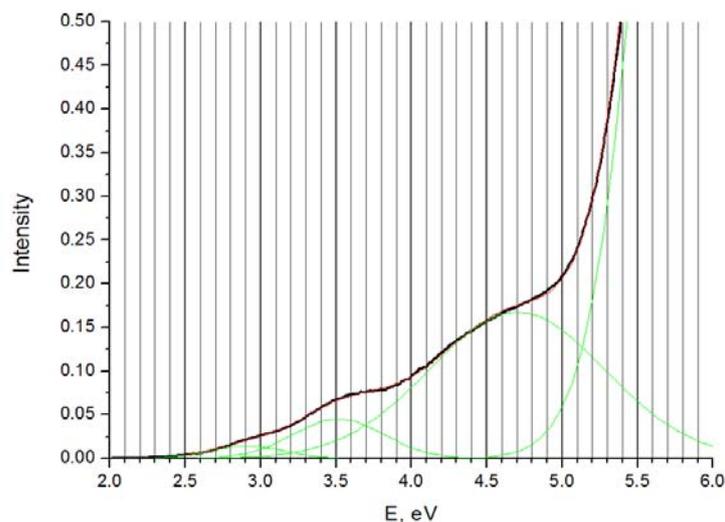


Рис. 3. Спектр отражения порошка оксида магния с наплавленным ТЭНом

В спектре отражения смеси оксида магния и ТЭНа можно выделить новую длинноволновую полосу в районе 2.9 eV, отсутствующую в спектрах индивидуальных компонентов. Возникающие в смеси линия поглощения можно, предположительно, связать с переносом электрона с поверхности MgO на поверхность ТЭНа. Полоса поглощения в области 1,3 эВ, рассчитанная в [3] и связанная с переносом электрона из F-центра на молекулу ТЭНа, в измеренных спектрах не наблюдается. Это можно объяснить тем, что используемый в работе оксид магния содержал недостаточную концентрацию F центров. Максимум полосы поглощения для F-центров составляет 5 эВ [4].

В результате проделанной работы можно сделать вывод о том, что введение добавки в энергетический материал приводит к возникновению новых полос поглощения в полученном композите. Можно предположить, что подбор определенной комбинации энергетический материал – стабильная добавка позволит получить композит, обладающий полосой поглощения соответствующей длине волны излучения доступных источников лазерного излучения.

Литература.

1. Ahmad S. R., Cartwright M. Laser Ignition of Energetic Materials. – John Wiley & Sons, 2014.
2. Э.Д.Алукер, Г.М.Белокуров, А.Г.Кречетов, А.Ю.Митрофанов, Д.Р.Нурмухаметов. Лазерное инициирование тетранитрата пентаэритрита со светорассеивающими добавками // Письма в журнал технической физики. 2010, Т. 36, № 6, С. 80-85
3. Roman V. Tsyshevsky, Sergey N. Rashkeev, and Maija M. Kuklja. Electronic States and Optical Transitions at Organic-Inorganic Interfaces: Pentaerythritol Tetranitrate on MgO Surface // Surface Science, 2015, 637-638, p. 19-28. (in press)
4. Kotomin E. A., Popov A. I. Radiation-induced point defects in simple oxides // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 1998. – Т. 141. – №. 1. – С. 1-15.

### ИЗГИБ ДИСЛОКАЦИОННОГО СЕГМЕНТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ ПОСЛЕКАСКАДНЫХ ВОЛН

*А.В. Маркидонов, к.ф.-м.н., доц.*

*Филиал Кузбасского государственного технического университета в г. Новокузнецке*

*654000, г. Новокузнецк, ул. Орджоникидзе, 7*

*E-mail: markidonov\_artem@mail.ru*

Огромную роль в современной технике играет ионное имплантирование, позволяющие внедрять элементы практически любого элемента в приповерхностную область твердого тела, и в последнее время оно все шире используется в медицине, машиностроении, материаловедении и т.д. Согласно теоретическим вычислениям ускоренные ионы должны внедряться в мишень на глубину в несколько микрометров. Однако толщина модифицированных слоев в ряде экспериментов составляет несколько десятков, а то и сотен микрометров [1]. Кроме того, существуют исследования, согласно

которым перераспределение основных компонентов материалов наблюдается с обеих сторон мишени [2]. Единой теории, позволяющей объяснить все наблюдаемые проявления «эффекта дальнего действия», в настоящее время не существует. Основная идея, лежащая в ряде математических моделей, заключается в генерации упругих волн при внедрении ускоренных ионов. Данные волны инициируют вынос различных дефектных образований за пределы области торможения ускоренных частиц. Если после этого дефект попадает на дислокацию, то упрощается сквозное проникновение примесей через образец, так как скорость диффузии вдоль линии дислокации выше, чем в объеме зерна [3].

Стоит отметить, что большой интерес у исследователей вызывает увеличение микротвердости образцов на глубинах, превышающих расчетные пробеги ионов. Одной из причин роста микротвердости в данном случае называется образование дислокационных петель внедрения за счет коагуляции точечных дефектов, возникающих при прохождении ударных волн через объем образца [4]. В большинстве работ учитывается лишь опосредованное влияние ударных волн, а непосредственное взаимодействие волны с дислокационной структурой практически не рассматривается. Но, как уже было сказано выше, дислокации, их взаимное расположение и взаимодействие, могут вносить огромный вклад в процесс сверхглубокого проникновения примесей. Поэтому нельзя не учитывать влияние ударных волн на дислокационную структуру, особенно в связи с тем, что возникновение наноразмерных областей взрывного энерговыделения с испусканием наноударных волн представляет собой общее явление для различных видов корпускулярного облучения [5].

Известно, что имплантация низкоэнергетических ионов в твердое тело приводит к образованию малой области перегрева, в которой реализуются температуры до нескольких тысяч градусов и давления в десятки гигапаскалей. В таком нелокальном термоупругом пике формируется мощный акустический импульс, влияющий на кинетические процессы на значительном расстоянии от падающего иона [6]. Воздействие концентрированных потоков энергии также может приводить к формированию ударных волн, получивших название послекаскадных [7].

Целью настоящей работы является исследование влияния ударной послекаскадной волны на динамику сегмента краевой дислокации.

Рассматриваемые в работе процессы отличает высокая скорость протекания, что затрудняет прямые наблюдения. Поэтому наиболее рациональным видится использование методов компьютерного моделирования. В качестве метода компьютерного моделирования был выбран метод молекулярной динамики, в связи с тем, что он позволяет проводить эксперименты с заданными скоростями атомов и сравнивать динамику исследуемых процессов с реальным временем. Исследование проводилось с помощью пакета МД-моделирования XMD [8], очевидным преимуществом которого является широкий набор поддерживаемых потенциалов, сравнительная простота использования и открытость исходных кодов. В качестве потенциальной функции межатомного взаимодействия использовался потенциал Джонсона, рассчитанный в рамках метода погруженного атома [9]. Температура расчетной ячейки задавалась путем присвоения атомам случайных скоростей в соответствии с распределением Максвелла-Больцмана для указанной температуры. Для фиксации заданной температуры использовался термостат Андерсена [10], в результате действия которого атомы системы испытывают столкновения с некими виртуальными частицами, что приводит к уменьшению скорости реальных частиц. Шаг численного интегрирования уравнений движения равнялся 5 фс.

В настоящей работе исследование проводилось на расчетном блоке, моделирующем кристаллит никеля, и имеющем форму параллелепипеда. Ориентация кристаллита задавалась следующим образом: ось  $X$  была направлена вдоль кристаллографического направления  $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ , ось  $Y$  – вдоль  $\langle 001 \rangle$ , а  $Z$  –  $\langle 110 \rangle$ . Для создания краевой дислокации в расчетном блоке удалялась часть атомов двух соседних полуплоскостей  $\{1\bar{1}0\}$ , после чего следовала процедура релаксации при условии, что атомам позволялось смещаться лишь вдоль направления  $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ . В результате этого происходило сближение атомных плоскостей, расположенных по разные стороны от разреза, и формировалась экстраплоскость.

Моделирование проводилось с периодическими граничными условиями, как вдоль линии дислокаций, так и вдоль направления вектора Бюргера, что приводило к формированию массива дислокаций. Данный подход является наиболее предпочтительным при моделировании краевой дислокации на атомарном уровне, так как позволяет не только сократить продолжительность вычислений, но и, что более важно, осуществлять количественное исследование динамики дислокации при заданной температуре [11].

В реальных кристаллах дислокации, как правило, жестко закреплены узлами дислокационной сетки, или, например, комплексами примесей. Поэтому при проведении компьютерных экспериментов фиксировалась группа атомов, расположенных в области пересечения дислокационной линии и границы расчетного блока, что создавало эффект дислокационного отрезка.

Особенностями ударной послекаскадной волны, отличающей ее от волн, получаемых другими методами, является большая амплитуда атомных смещений, а также малая ширина фронта, соизмеримая с параметром решетки кристалла [12]. Поэтому для создания волны, группе атомов в приграничной области расчетного блока присваивалась скорость, превышающая скорость звуковых волн  $c$ , вдоль кристаллографического направления  $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ . Плотнупакованное направление было выбрано потому, что из-за наличия механизмов фокусировки энергии, сферическая волна трансформируется во фрагменты плоских волн, распространяющихся именно вдоль плотноупакованных направлений [13, 14]. В результате последующих эстафетных атомных смещений формируется бегущая волна, ширина фронта которой не превышает нескольких межатомных расстояний, а амплитуда смещений атомов значительно превышает, например, амплитуду тепловых колебаний.

Проведенное исследование показало, в результате прохождения по расчетному блоку ударной волны наблюдается колебание дислокационного сегмента, а в отдельных случаях его изгиб по направлению к источнику волн. Ранее авторами в работе [15] было показано, что непосредственно за ударной послекаскадной волной следует волна разгрузки, которая может вызывать смещение дислокации. В настоящей же работе волна разгрузки является причиной изгиба дислокационного сегмента. В результате обобщения результатов компьютерных экспериментов можно сделать следующий вывод. Дислокационный сегмент выгибается после прохождения ударной волны и в дальнейшем возвращается в первоначальное положение, совершая колебания около положения равновесия. При определенных условиях проведения эксперимента отрезок изгибается настолько сильно, что остается в таком положении достаточно длительное время. Это связано с тем, что выгибание сегмента сопровождается образованием перегибов (кинков). Именно неравномерное распределение перегибов по длине дислокации создает кривизну линии (см. рис. 1.а). В процессе структурной релаксации за счет отталкивания одноименных и притяжения разноименных перегибов устанавливается равновесная конфигурация сегмента в виде двойного перегиба (см. рис. 1.б). Известно, что при конечной температуре равновесной конфигурации с минимумом свободной энергии соответствует не прямая дислокационная линия, лежащая в долине Пайерлса, а линия с термическими перегибами, увеличивающими энтропию системы [16]. В нашем случае метастабильная кривизна сегмента обусловлена именно прохождением ударной волны, а не тепловыми колебаниями атомов.

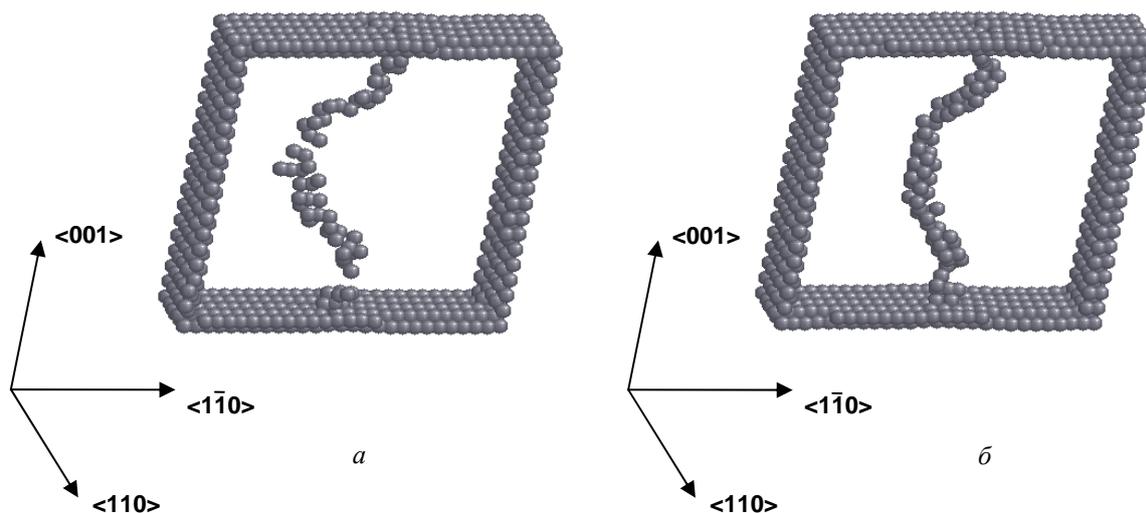


Рис. 1. Фрагмент расчетного блока, содержащего краевую дислокацию, через 2.5 (а) и 7.5 (б) пс после генерации ударной волны со скоростью  $1.5c$ . Температура расчетного блока 900 К

Таким образом, компьютерные эксперименты показали, что ударные послекаскадные волны могут непосредственно влиять на дислокационную структуру облученного материала, ускоряя взаи-

модействие отдельных дислокаций с точечными дефектами. Данные результаты свидетельствуют о значительном вкладе ударных волн, создаваемых при облучении материала, в перенос вещества на глубинах, превышающих пробеги ускоренных ионов.

Литература.

1. Шаркеев Ю.П., Колупаева С.Н., Гирсова Н.В. Эффект дальнего действия в металлах при ионной имплантации // *Металлы*. 1998. №1. С.109-115.
2. Алалыкин А.С., Крылов П.Н., Федотова И.В., Федотов А.Б. Влияние обработки ионами Ag низких энергий на характеристики рабочей и тыльной сторон подложки монокристаллического GaAs // *Физика и техника полупроводников*. 2003. Т.37. Вып.4. С.465-468.
3. Апарина Н.П., Гусева М.И., Колбасов Б.Н., Коршунов С.Н., Мансурова А.Н., Мартыненко Ю.В., Боровицкая И.В., Иванов Л.И. Некоторые аспекты эффекта дальнего действия // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез*. 2007. №3. С.18-27.
4. Боровицкая И.В., Дедюрин А.И., Иванов Л.И., Крохин О.Н., Никулин В.Я., Петров В.С., Тихомиров А.А. Изменение объемных свойств ванадия под воздействием высокотемпературной плотной импульсной дейтериевой плазмы // *Перспективные материалы*. 2004. № 2. С. 44-48.
5. Мартыненко Ю.В., Московкин П.Г. Эффект дальнего действия и перенос энергии в твердых телах при ионной бомбардировке // *Неорганические материалы*. 1998. Т. 34. № 9. С. 1142 – 1144.
6. Калиниченко А.И., Стрельницкий В.Е. Упругие волны, возбуждаемые при ионной имплантации, и их влияние на процессы в облучаемом материале // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (88)*. 2005. №5. С. 159-163.
7. Овчинников В.В. Радиационно-динамические эффекты. Возможности формирования уникальных структурных состояний и свойств конденсированных сред // *Успехи физических наук*. 2008. Т.178. №9. С.991-1001.
8. XMD – Molecular Dynamics for Metals and Ceramics // [Electronic resource]. Mode of Access: <http://xmd.sourceforge.net/about.html>.
9. Johnson R.A. Analytic nearest-neighbor model for FCC metals // *Physical Review B*. 1988. V.37. №8. P.3924-3931.
10. Andersen H.C. Molecular dynamics simulations at constant pressure and/or temperature // *Journal of Chemical Physics*. 1980. V.72. №4. P.2384-2394.
11. Osetsky Yu. N., Bacon D.J. An atomic-level model for studying the dynamics of edge dislocations in metals // *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*. 2003. V.11. №4. P.427-447.
12. Zhukov V.P., Boldin A.A. Elastic-wave generation in the evolution of displacement peaks // *Atomic Energy*. 1987. V.68. P.884-889.
13. Chudinov V.G., Cotterill R.M.J., Andreev V.V. Kinetics of the diffuse processes within a cascade region in the sub-threshold stages of F.C.C. and H.C.P. Metals // *Physica Status Solidi (a)*. 1990. V.122. №1. P.111-120.
14. Гарбер Р.И., Федоренко А.И. Фокусировка атомных столкновений в кристаллах // *Успехи физических наук*. 1964. Т.83. Вып.3. С.385-432.
15. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Смирнова М.В., Коваленко В.В., Захаров П.В. Влияние ударных послекаскадных волн на динамику краевой дислокации // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2014. Т.11. №4. С.461-469.
16. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. – М.: Атомиздат, 1972. – 600 с.

### ВЛИЯНИЕ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

*НгуенСуан Тьук<sup>2,\*</sup>, асп., С.В. Панин<sup>1,2</sup>, д.н.т., проф., Л.А. Корниенко<sup>1</sup>, к.ф.-м.н.*

*<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, 634021, г. Томск*

*<sup>2</sup>НИИ Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск*

*E-mail\*: [nxthuc1986@gmail.com](mailto:nxthuc1986@gmail.com)*

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) обладает приемлемыми для полимеров характеристиками прочности, в то время как низкий коэффициент трения, высокая износостойкость и химическая стойкость в агрессивных средах, высокая ударная вязкость, низкая температура хрупкости обеспечивают возможность его широкого применения в различных областях техники и условиях эксплуатации [1-3]. Использование композиционных материалов на основе СВМПЭ позволяет кратко

повысить сопротивление изнашиванию металлополимерных трибосопряжений. В последнее время активно разрабатываются микро- и нанокомпозиты на основе СВМПЭ [4-8]. Однако механизмы высокой износостойкости композиций на основе сверхвысокомолекулярной матрицы остаются не до конца выясненными [6]. В частности, дискуссионным является вопрос влияния параметров формирующейся в микрокомпозитах надмолекулярной структуры на сопротивление изнашиванию. Кроме того, определенная дискуссия остается по вопросу формирования пленки переноса, ее параметров и деградации во времени [9].

При обсуждении механизмов повышения износостойкости композитов на основе СВМПЭ при сухом трении скольжения традиционно выделяют три аспекта. Во-первых, отсутствие межфазного взаимодействия между полимерной матрицей и частицами наполнителя, которые оказываются «запрессованными» в первой, что при трибонагрузке определяет эффективное поглощение энергии без разрушения композита. Во-вторых, влияние частиц наполнителя на изменение размера и формы, например, сферолитов, что, как правило, сопровождается заметным снижением механических свойств, но может не приводить к снижению сопротивления изнашиванию. В-третьих, взаимодействие поверхности стального контртела с полимерной матрицей и выступающими над ее поверхностью частицами наполнителя.

Введение дисперсного графита в качестве твердосмазочной добавки в масла либо антифрикционные покрытия (например, на основе порошковых красок) является эффективным и распространенным в промышленности приемом. Однако известно достаточно мало работ, посвященных сопоставительному сравнению влияния порошков графита в качестве наполнителей для СВМПЭ.

#### **Методики исследований**

В работе использовали СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн и размером частиц 5-15 мкм, каллоидный графит С-1(Ø 1-4 мкм). Образцы полимерных композитов получали горячим прессованием при давлении 10 МПа и температуре 200°С со скоростью последующего охлаждения 5°С/мин. Перемешивание порошков полимерной смеси СВМПЭ и наполнителей С проводили в планетарной шаровой мельнице МР/0,5\*4 с предварительным диспергированием компонентов в ультразвуковой ванне.

Износостойкость материалов в режиме сухого трения определяли по схеме «вал-колодка» при нагрузке на образец 68,8 Н и скорости вращения вала 100 об/мин в соответствии с ASTM G99 на машине трения СМТ-1 (скорость скольжения при этом составляет 0,32 м/сек). Размер образцов равнялся В×Ш×Д=7×7×10 мм. Диаметр контртела из стали ШХ15 составлял 62 мм. Поверхности трения образцов исследовали на оптическом профилометре Zygo NewView 6200. Площадь дорожки трения определяли с помощью программного обеспечения «RhinoCeros 3.0» путем ручного выделения контура поверхности истирания (дорожки трения) и последующего автоматического расчета ее площади.

Испытания на абразивный износ проводили на машине для испытаний резины на истираемость МИ-2. Сопротивление изнашиванию оценивали при нагрузке 0,15 МПа и скорости скольжения вала относительно пары образцов 17,0 м/мин. Использовали частицы закрепленного абразива Р 240 (на бумажной основе) с размером зерна 58,5 мкм (ГОСТ 426). Объемный абразивный износ определяли взвешиванием образцов с последующим вычислением потери массы через каждые 5 минут. Методика тестирования соответствовала требованиям ASTM G99 и DIN 50324. Триботехнические характеристики оценивали усреднением по четырем образцам.

Структурные исследования проводили с помощью растрового электронного микроскопа LEO EVO 50 при ускоряющем напряжении 20 кВ на поверхностях скола образцов с надрезом, механически разрушенных после выдержки в жидком азоте. Механические характеристики определяли при разрывных испытаниях на электромеханической испытательной машине Instron 5582 при растяжении образцов в форме двойной лопатки при количестве образцов одного типа не менее 5 (ГОСТ 11262-80).

#### **Результаты и обсуждение**

В таблице 1 приведены трибомеханические характеристики СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес.% С. Из таблицы следует, что твердость по Шору D композиций СВМПЭ+n вес.% С несколько возрастает по сравнению с чистым СВМПЭ. Предел текучести увеличивается незначительно, а предел прочности уменьшается. При наполнении полимера графитом возрастают плотность и величина удлинения до разрушения, а коэффициент трения уменьшается. Оптические изображения образцов, разрушенных при испытании на растяжение СВМПЭ и композитов СВМПЭ-С показаны на рис. 1.

Таблица 1

Механические свойства и коэффициент трения композиций СВМПЭ-С						
Содержание наполнителя С, вес.%	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Твердость по Шору D	Предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа	Удлинение до разруш. $\epsilon$ , %	Коэф. трения $f$
0	0,936	56,7±0,6	19,2±0,9	34,3±1,7	470±23,6	0,16
3	0,953	57,5±0,5	19,5±1,0	30,3±1,5	471±23,8	0,1
5	0,967	57,5±0,4	19,6±1,2	29,7±1,5	513±25,1	0,11
10	0,989	57,6±0,6	20,1±1,3	28,5±1,8	538±25,3	0,12

Анализ кинетических кривых изнашивания образцов СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес.% С (рис. 2, а) показал, что интенсивность изнашивания последних значительно меньше, чем таковая для чистого (незаполненного) СВМПЭ. На рис. 2, б приведена диаграмма интенсивностей износа на стадии установившегося изнашивания ( $I$ , мм<sup>2</sup>/мин) указанных выше композиций. Из рис. 2, следует, что наименьшая интенсивность износа зафиксирована в композициях СВМПЭ+(3-5) вес. % С (интенсивность изнашивания уменьшается практически в 2 раза по сравнению с чистым СВМПЭ).

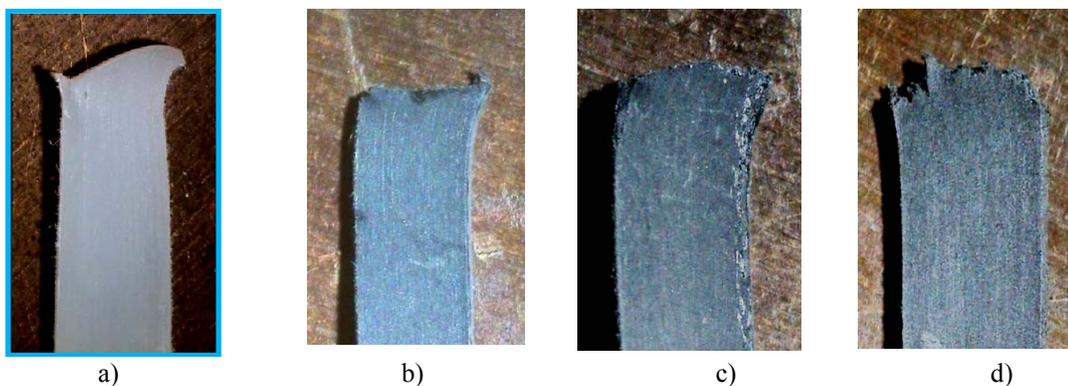


Рис. 1. Оптические изображения образцов, разрушенных при испытании на растяжение, СВМПЭ (а) и композитов СВМПЭ с 3(б), 5(с), 10 вес.% С(д)

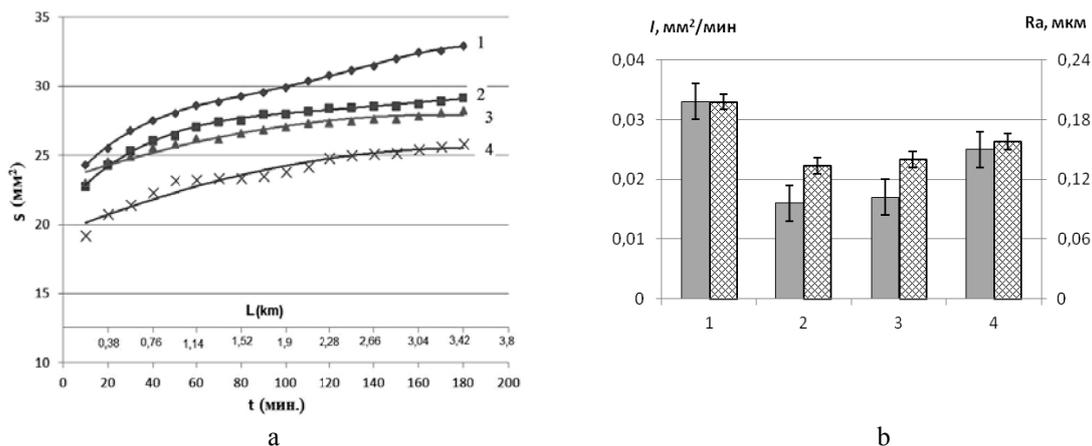


Рис. 2. Кинетические кривые (а), интенсивность изнашивания ( $I$ ) и шероховатость поверхности дорожки трения ( $Ra$ ) (б) СВМПЭ и композитов СВМПЭ-С: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ+3 вес.% С (2), СВМПЭ+5 вес.% С (3), СВМПЭ+10 вес.% С (4) на стадии установившегося износа в режиме сухого трения

Шероховатость поверхности трения в композиции СВМПЭ+3 вес. % С так же наименьшая (рис. 2, б). Таким образом, несмотря на некоторое снижение предела прочности, композиции СВМПЭ+(3-5) вес. % С характеризуются двукратным повышением сопротивления изнашиванию при

сухом трении скольжения. Дальнейшее увеличение содержания графита в композиции до 10 вес.% не эффективно с позиции повышения износостойкости композитов СВМПЭ+С.

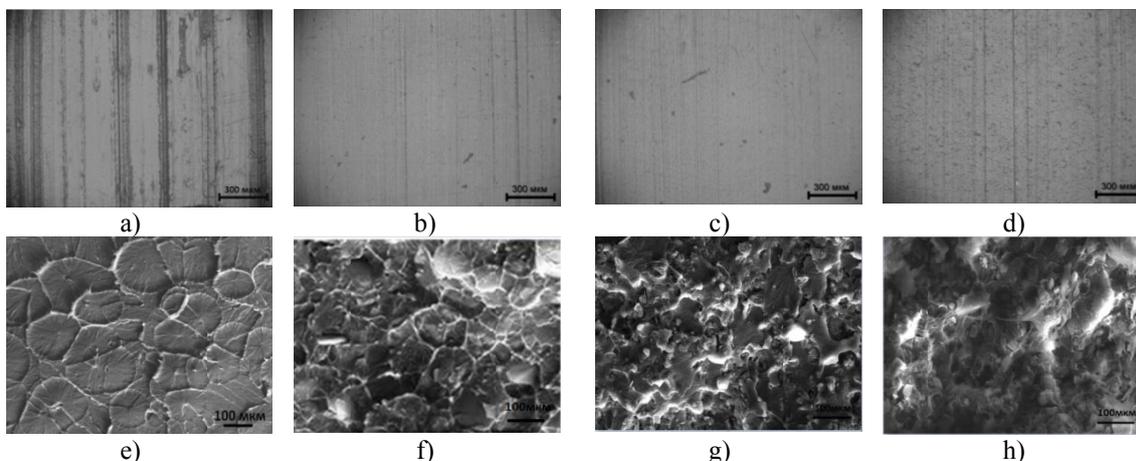


Рис. 3. Микрофотографии поверхностей износа и надмолекулярной структуры СВМПЭ (а,е), СВМПЭ+3 вес.% С (b,f), СВМПЭ+5 вес.% С (с,g), СВМПЭ+10 вес.% С (d,h) в режиме сухого трения скольжения

Для выяснения взаимосвязи между характером износа при сухом трении скольжения, сформировавшейся структурой и типом и количеством наполнителей в композитах на основе СВМПЭ исследованы поверхности изнашивания (на стадии установившегося износа) и надмолекулярная структура всех композиций СВМПЭ+n вес. % С (рис. 3). Из рис. 3 следует, что наполнение СВМПЭ частицами углерода приводит к постепенному изменению надмолекулярной структуры: подавляется формирование сферолитной структуры (рост сферолитов). Видно, что надмолекулярная структура СВМПЭ становится менее однородной, что связано с препятствованием частицами наполнителя роста сферолитов при кристаллизации. В композиции СВМПЭ-С сферолиты фактически не формируются уже при наполнении СВМПЭ выше 3 вес.% С.

Микроборозды, присутствовавшие на поверхности трения чистого СВМПЭ, практически исчезают в композициях с (3-5) вес. % С, и вновь наблюдаются при дальнейшем увеличении содержания наполнителя (рис. 3, a-d).

С учетом анализа литературных данных предлагается несложное феноменологическое объяснение роли твердосмазочных наполнителей (С) в обеспечении износостойкости композитов на основе СВМПЭ в условии сухого трения скольжения. Известно, что графит, благодаря слоистому строению решетки, имеет высокую адгезию к металлической поверхности, поэтому быстро формируют микрослой переноса на контртеле [11]. Данный слой имеет высокую прочность, и в процессе эксплуатации трибосопряжения в условиях сухого трения скольжения происходит взаимное перемещение пластинок графита, тем самым понижается трение и изнашивание деталей машин и изделий.

#### **Заключение**

Определено содержание микропорошков графита (3 вес. %), обеспечивающее повышение сопротивления изнашиванию при сухом трении скольжения до двух раз. Указанный эффект сопровождается снижением коэффициента трения до 1,5 раз.

Графит выполняет роль твердой смазки в процессе изнашивания композитов на основе СВМПЭ.

Наполнение СВМПЭ твердосмазочными микрочастицами С является эффективным с позиции незначительного снижения механических свойств, снижения коэффициента трения, а также повышения износостойкости при всех трех исследованных видах изнашивания. Поэтому композит на основе СВМПЭ (СВМПЭ+3 вес. % С) может эффективно использоваться для узлов трения в отсутствие смазочной среды.

#### **Литература.**

1. Трибология. Исследования и приложения: опыт США и СНГ// под редакцией В.А. Белого, Н.К. Мышкина.-М.: Машиностроение, Нью-Йорк: Аллертон Пресс, 1993, 454 с.

2. Майер Э.А., Дудченко В.К., Поддубняк А.Н., Аркатов О.Л. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен: Новая реальность отечественной промышленности полиолефинов// Пластические массы.- 2003, №8, 3-5.
3. Harley L. Stein. Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)//Engineered Materials Handbook.-1999, Vol. 2: Engineering Plastics.
4. Galetz M.C., Blar T., Ruckdaschel H., Sandler K.W., Alstadt V. Carbon Nanofibre-Reinforced Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene for Tribological Applications// Journal of Applied Polymer Science.- 2007, Vol. 104, 4173-4181.
5. Z. Wei, Ya-Pu Zhao, S.L. Ruan, P. Gao. A study of the tribological behavior of carbon-nanotube-reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene composites// SURFACE AND INTERFACE ANALYSIS.-2006, Vol. 38, 883-886.
6. Юдин А.С., Буяев Д.И., Краснов А.П., Сачек Б.Я. и др. Дисперсные наполнители в трибологических полимерных волокноармированных материалах (поисковое исследование)// Вопросы материаловедения.-2012, 4(72), 231-239.
7. S.V. Panin, L.A. Kornienko, V.P. Sergeev, N. Sonjaitham, M.V. Tchaikina. Wear-Resistant Ultrahigh-Molecular-Weight Polyethylene-Based Nano- and Microcomposites for Implants//Journal of Nanotechnology, Volume 2012(2012), Article ID 729756, 7 p.
8. А.П. Краснов, В.Н. Адериха, О.В. Афоничева, В.А. Мить, Н.Н. Тихонов, А.Ю. Васильков, Э.Е. Саид-Галиев, А.В. Наумкин, А.Ю. Николаев // О систематизации нанонаполнителей полимерных композитов. Трение и износ, 2010, Т. 31, № 1, с. 93-108.
9. А.П. Краснов, В.А. Мить, О.В. Афоничева, И.А. Рашкован, М.Е. Казаков «Трибохимически активные и трибостабильные полимеры и полимерные системы»// Трение и износ, 2002, Т. 23, № 4, с. 397-410.
10. А.П. Краснов, О.В. Виноградова, В.Б. Баженова, И.А. Грибова, Т.А. Гуляева, В.И. Неделькин. Трибохимические процессы в полифениленсульфиде, наполненном дисульфидом молибдена и графитом// Трение и износ, 1996, Т. 17, № 4, с. 544-549.
11. P.R. Buseck, V.V. Kovalevski and J.M. Cowley. Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: An X-ray and TEM study//Carbon.-2001, Vol. 39, No. 2, 243-256.
12. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Н. Сонджайтам, Л.Р. Иванова, С.В. Шилько. Абразивное изнашивание микро и нанокомпозитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Часть 1. Композиты на основе СВМПЭ, наполненного микрочастицами  $AlO(OH)$  и  $Al_2O_3$ // Трение и износ. 2012 (33), № 4, 233-239.

#### ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИКОВ И НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ

*А.П. Никитин<sup>1</sup>, аспирант, А.А. Зевков<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. н.с., И.Ю. Зыков<sup>2</sup>, аспирант*  
<sup>1</sup>*Институт углерода и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово*

*Россия, 650000, г. Кемерово, пр. Советский, 18, тел. (3842)- 28-15-22*

<sup>2</sup>*Кемеровский государственный университет, г. Кемерово*

*Россия, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842)-31-57-18,*

*E-mail: kriger@kemsu.ru*

Исследование оптических свойств наночастиц металлов особенно актуально в настоящее время. Это связано с созданием новых и улучшением старых методов синтеза наночастиц, а так же широким спектром их практического применения. Предложено использовать наночастицы металлов в устройствах нелинейной оптики, введение наночастиц металлов усиливает нелинейные оптические свойства таких материалов как ниобат лития. Увеличение коэффициента поглощения лазерного излучения наночастицы в системе инертная матрица-металл приводит к нагреванию металлического включения [1], что можно использовать в гипертермической терапии раковых опухолей. В ряде работ наночастицы металлов использовались в качестве армирующей добавки в композитные материалы на основе бризантных взрывчатых веществ [2-4]. Введение металлических наночастиц позволило селективно повысить чувствительность полученных композитов к лазерному излучению, с одновременным уменьшением восприимчивости к другим видам воздействия. Во всех рассматриваемых случаях эффективность функционирования устройства определяется оптическими свойствами наночастиц, которые зависят от их размера, формы и длины волны излучения [5-6]. Поэтому целью данной

работы является определение оптических характеристик, а именно коэффициентов эффективности экстинкции, рассеяния и поглощения наночастиц алюминия различного радиуса для актуальных длин волн излучения 532, 694 и 799 нм. Выбор алюминия в качестве металла включения обусловлено его высокой проводимостью, химической активностью и перспективой использования в исполнительных устройствах [7-8].

### Методика расчета

Для расчетов коэффициентов эффективности экстинкции и поглощения света применялась теория Ми, из которой можно непосредственно рассчитать коэффициент эффективности экстинкции ( $Q_e$ ) и рассеяния ( $Q_s$ ) света с длиной волны  $\lambda$  для сферического включения радиуса  $R$  [9-10]. Коэффициент эффективности поглощения рассчитывается как разница этих коэффициентов [11-12]. Данные коэффициенты определяются как отношение сечения поглощения света к геометрическому сечению включения. Так как в работе рассматривается сферическое включение, то его геометрическое сечение равно  $\pi R^2$ . Коэффициенты эффективности экстинкции, рассеяния и поглощения света запишем в виде:

$$Q_e = \sum_{l=1}^{\infty} (F^{c_{le}} + F^{b_{le}}), \quad (1)$$

$$Q_s = \sum_{l=1}^{\infty} (F^{c_{ls}} + F^{b_{ls}}), \quad (2)$$

$$Q_a = Q_e - Q_s. \quad (3)$$

Величины в скобках, указывающие на вклады электрических  $F^{c_l}$  и магнитных  $F^{b_l}$  колебаний в каждый из коэффициентов эффективности, имеют вид:

$$F^{c_{le}} = \frac{2}{\rho^2} (2l+1) \cdot |c_l|^2, \quad (4a)$$

$$F^{b_{le}} = \frac{2}{\rho^2} (2l+1) \cdot |b_l|^2, \quad (4б)$$

$$F^{c_{ls}} = \frac{2}{\rho^2} (2l+1) \cdot \text{Im} c_l, \quad (4в)$$

$$F^{b_{ls}} = -\frac{2}{\rho^2} (2l+1) \cdot \text{Im} b_l, \quad (4г)$$

где  $\rho = 2\pi R m_0 / \lambda$  - безразмерный радиус наночастицы,  $m_a$  - показатель преломления среды. При моделировании использовался показатель преломления среды  $m_a=1.5$ , так как это типичное значение для многих конденсированных прозрачных диэлектрических сред, например, таких как оптические стекла. Кроме того, показатель преломления гексогена составляет 1.5, поэтому часть результатов работы может быть использована для прогнозирования чувствительности капсуля оптического детонатора на основе гексогена с наночастицами алюминия к излучению неодимового, рубинового и криптонового лазеров. Для более подробного описания поведения коэффициентов эффективности экстинкции, рассеяния и поглощения расчеты проведены так же и для других сред, с показателями преломления от 1 до 2. Коэффициенты  $c_l$  и  $b_l$  в (4) определяются из граничных условий на поверхности наночастицы.

Одним из основных параметров для расчета является комплексный показатель преломления ( $m_i$ ) включения на разных длинах волн [13]. Так как в справочнике нет  $m_i$  для интересующих нас лазеров, то применялся расчет методом сплайн-интерполяции с шагом в 1 нм как в работе [14]. Действительные ( $n$ ) и модуль мнимой ( $|\chi|$ ) части комплексного показателя преломления алюминиевого включения на второй гармонике неодимового, рубинового и криптонового лазерах представлена в таблице 1. Запись модуля мнимой части обуславливается тем, что эта величина для металлов является отрицательной.

Вид лазера	$\lambda$ , нм	n	$ x $
Неодимовый (вторая гармоника)	532	0.56	4.86
Рубиновый	694	1.23	5.91
Криптоновый	799	1.78	6.87

### Результаты расчета

Рассчитанные с использованием выражений (1)-(4) зависимости коэффициентов эффективности экстинкции и рассеяния 1 света наночастицами алюминия от их радиуса в матрице гексогена на длинах волн 532 нм, 694 нм и 799 нм представлены на рисунке 1 и 2. Все кривые имеют ярко выраженные максимумы  $Q_{e\ max}$  при  $R_{e\ max}$  и  $Q_{s\ max}$  при  $R_{s\ max}$ , как в металлах группы железа [15]. Для наночастиц с радиусом  $R < R_{e\ max}$ , значение коэффициента эффективности экстинкции резко уменьшается и в приближении  $R \rightarrow 0$   $Q_{e\ max} \rightarrow 0$ . Для наночастиц  $R > R_{e\ max}$ ,  $Q_{e\ max}$  уменьшается с затухающими осцилляциями, в последствии, переходящими в прямые линии, сохраняя тенденцию к уменьшению коэффициента эффективности экстинкции. Максимальное значение  $Q_e$  на трех представленных длин волн наблюдается для второй гармоники неодимового лазера (532 нм) у наночастицы алюминия радиусом 54.4 нм, и составляет 4.448. Для длин волн рубинового (694 нм) и криптонового (799 нм) лазеров, максимальные значения коэффициентов эффективности поглощения меньше на 17% и 26% соответственно, и составляют 3.800 и 3.506 соответственно. К тому же, наиболее эффективные радиусы наночастиц ( $R_e$ ) на длинах волн 694 нм и 799 нм больше, чем на второй гармонике неодимового лазера на 27 % и 39 % соответственно. Картина остается подобно для зависимостей коэффициентов эффективности рассеяния от радиуса наночастиц. Абсолютные значения максимумов, разумеется, ниже, чем на зависимости  $Q_e(R)$ . Характер зависимостей максимальных значений остается тем же, а именно – при увеличении длины волны  $Q_{s\ max}$  уменьшается, как и соответствующие им  $R_{s\ max}$ .

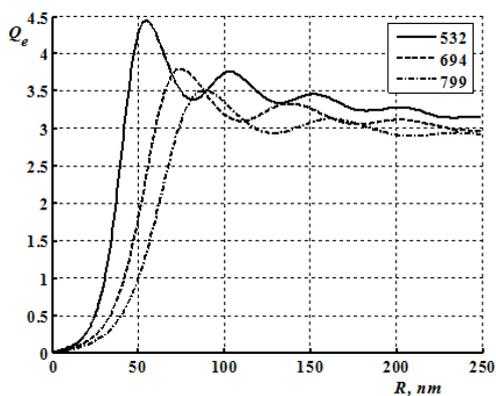


Рис. 1. Зависимость коэффициента эффективности экстинкции от радиуса наночастицы алюминия на длинах волн 532 нм; 694 нм; 799 нм

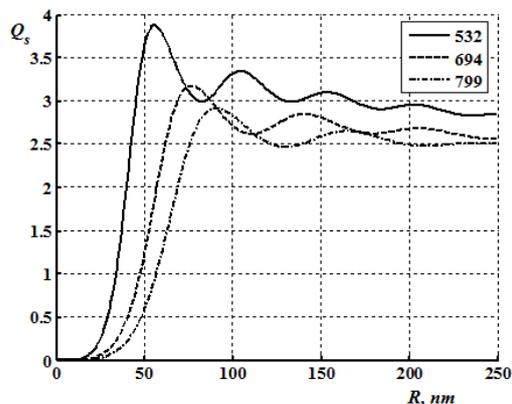


Рис. 2. Зависимость коэффициента эффективности рассеяния от радиуса наночастицы алюминия на длинах волн 532 нм; 694 нм; 799 нм

Картина несколько меняется в случае зависимостей коэффициентов эффективности поглощения от радиусов наночастиц алюминия излучения второй гармоники неодимового лазера [5-7], рубинового лазера и криптонового лазера, приведенных на рис. 3. Поведение кривых повторяет зависимость  $Q_e(R)$ , то есть кривые имеют максимумы ( $Q_{a\ max}$ ) при соответствующих радиусах ( $R_{a\ max}$ ).  $Q_{a\ max}(532)$  больше всего лишь на 1.5% относительно  $Q_{a\ max}(799)$ , однако радиус наиболее поглощающей вторую гармонику неодимового лазера частицы меньше на 40% чем для криптонового, и составляет 46.3 нм. Наряду с этим, самое большое значение коэффициента эффективности поглощения наблюдается на рубиновом лазере  $Q_{a\ max}=0.698$  при  $R_{a\ max}=63.7$  нм.

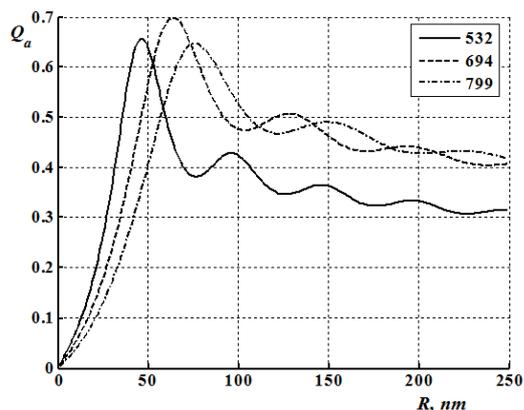


Рис. 3. Зависимость коэффициента эффективности поглощения от радиуса наночастицы алюминия на длинах волн 532 нм; 694 нм; 799 нм

Максимальные значения коэффициентов эффективности экстинкции, поглощения и рассеяния с соответствующими радиусами наночастиц алюминия в матрице гексогена приведены в таблице 2.

Таблица 2

Вид лазера	$Q_{e\ max}$	$R_{e\ max}$ , нм	$Q_{s\ max}$	$R_{s\ max}$ , нм	$Q_a\ max$	$R_a\ max$ , нм
Неодимовый (вторая гармоника)	4.448	54.4	3.878	55.6	0.656	46.3
Рубиновый	3.800	74.7	3.174	76.6	0.698	63.7
Криптоновый	3.506	88.5	2.915	90.6	0.647	75.8

Так как максимальное поглощение света наночастицами алюминия в матрице с показателем преломления 1.5 наблюдается длины волны рубинового лазера, проведен расчет зависимостей  $Q_a(R)$  для других матриц, варьируя  $m_a$ . Результаты расчета представлены на рис. 4.

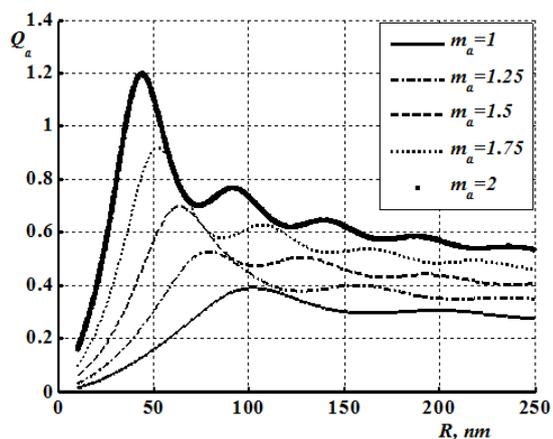


Рис. 4. Зависимость коэффициента эффективности поглощения от радиуса наночастицы алюминия на длине волны 694 нм для матриц с показателями преломления 1, 1.25, 1.5, 1.75 и 2

Из рис. 4 видно, что при переходе к оптически более плотной среде, содержащей наночастицы алюминия, максимальный коэффициент эффективности поглощения увеличивается с одновременным уменьшением оптимального радиуса.  $Q_a\ max$  для воздуха ( $m_a=1$ ) составляет величину 0.391 при радиусе  $R_a\ max=102.4$  нм. При помещении наночастиц алюминия в тяжелый флинт ( $m_a=1.8$ ) максимальное значение коэффициента эффективности поглощения увеличивается почти в 2.5 раза с уменьшением оптимального радиуса в 2 раза. Все рассчитанные значения максимальных коэффици-

ентов эффективности экстинкции, рассеяния и поглощения излучения рубинового лазера наночастицами алюминия при соответствующих радиусах для различных сред приведены в таблице 3.

Таблица 3

$\lambda$ , нм	$m_i$	$m_a$	$Q_{e\ max}$	$R_{e\ max}$ , нм	$Q_{s\ max}$	$R_{s\ max}$ , нм	$Q_{a\ max}$	$R_{a\ max}$ , нм
694	1.23-5.91i	1	3.210	119.4	2.847	121.0	0.391	102.4
		1.05	3.265	113.0	2.880	114.7	0.416	97.0
		1.1	3.321	107.3	2.913	108.9	0.442	92.0
		1.15	3.377	102.0	2.946	103.7	0.470	87.5
		1.2	3.435	97.1	2.979	98.9	0.498	83.3
		1.25	3.494	92.7	3.012	94.4	0.527	79.4
		1.3	3.553	88.6	3.044	90.3	0.558	75.8
		1.35	3.613	84.7	3.077	86.5	0.591	72.5
		1.4	3.675	81.2	3.110	83.0	0.625	69.4
		1.45	3.737	77.8	3.142	79.7	0.660	66.4
		1.5	3.800	74.7	3.174	76.6	0.698	63.7
		1.55	3.864	71.8	3.205	73.7	0.737	61.2
		1.6	3.929	69.1	3.236	71.0	0.779	58.8
		1.65	3.994	66.5	3.266	68.5	0.822	56.5
		1.7	4.061	64.0	3.295	66.1	0.868	54.4
		1.75	4.128	61.7	3.323	63.8	0.916	52.4
		1.8	4.197	59.5	3.351	61.7	0.967	50.5
		1.85	4.266	57.4	3.377	59.7	1.021	48.7
1.9	4.336	55.4	3.403	57.7	1.077	47.0		
1.95	4.407	53.6	3.427	55.9	1.136	45.3		
2	4.478	51.7	3.449	54.2	1.198	43.8		

В работе рассчитаны зависимости коэффициентов эффективности экстинкции, рассеяния и поглощения света наночастицами алюминия от радиуса для длин волн 532 нм, 694 нм и 799 нм. Показано, что максимальные значения коэффициентов эффективности экстинкции и рассеяния наблюдаются для второй гармоники неодимового лазера при наименьших радиусах, относительно других лазеров. Наибольшее значение коэффициента эффективности поглощения достигается воздействием на наночастицы алюминия, находящихся в матрице гексогена, рубинового лазера. При переходе к оптически более плотным матрицам, амплитуда максимального коэффициента эффективности поглощения увеличивается и смещается в область меньших радиусов. Полученные результаты могут использоваться для количественного описания оптических свойств таких функциональных материалов, как композиты на основе прозрачной конденсированной матрицы и наночастиц алюминия, которые могут быть перспективными для создания оптического детонатора.

*Авторы выражают глубокую благодарность научному руководителю профессору А.В. Каленскому. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (МК-4331.2015.2) и Министерства образования и науки РФ (госзадание № 2014/64).*

Литература.

1. Кригер, В.Г. Процессы теплопереноса при лазерном разогреве включений в инертной матрице / В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекков и др. // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – Т. 20. – № 3. – С. 375-382.
2. Kalenskii, A.V. Spectral regularities of the critical energy density of the pentaerythriol tetranitrate-aluminium nanosystems initiated by the laser pulse / A.V. Kalenskii, M.V. Ananyeva // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2014. – Т. 5. – № 6. – С. 803-810.
3. Каленский, А.В. Взрывная чувствительность композитов тэн-алюминий к действию импульсного лазерного излучения / А.В. Каленский, И.Ю. Зыков, М.В. Ананьева и др. // Вестник КемГУ. – 2014. – № 3-3 (59). – С. 211-217.
4. Kalenskii, A.V. The Microcenter Heat Explosion Model Modernization / A.V. Kalenskii, V. G. Kriger, A.A. Zvekov and others // Известия ВУЗов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11-3. – С. 62-66.

5. Адуев, Б.П. Взрывчатое разложение ТЭНа с нанодобавками алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны / Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, Р.И. Фурега и др. // Химическая физика. – 2013. – Т. 32. – № 8. – С. 39-42.
6. Каленский, А.В. Влияние длины волны лазерного излучения на критическую плотность энергии инициирования энергетических материалов / А.В. Каленский, А.А. Звекон, М.В. Ананьева и др. // Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50. – № 3. – С. 98-104.
7. Ананьева, М.В. Моделирование взрывного разложения тэна в рамках модернизированной модели горячей точки / М.В. Ананьева, А.В. Каленский, И.Ю. Зыков, и др. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 9-3. – С. 111-113.
8. Ананьева, М.В. Кинетические закономерности взрывного разложения ТЭНа, содержащего наноразмерные включения алюминия, кобальта и никеля / М.В. Ананьева, А.В. Каленский, Е. А. Гришаева и др. // Вестник КемГУ. – 2014. – №1-1 (57). – С. 194-200.
9. Zvekov, A.A. Regularities of light diffusion in the compo site material pentaery thriol tetranitrate – nickel / A.A. Zvekov, M.V. Ananyeva, A.V. Kalenskii and others // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2014. – Т. 5. – №5. – С. 685-691.
10. Адуев, Б.П. Исследование оптических свойств наночастиц алюминия в тетранитропентаэритрите с использованием фотометрического шара / Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, Г.М. Белокуров и др. // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84. – №9. – С. 126-131.
11. Звекон, А.А. Моделирование распределения интенсивности в прозрачной среде с Френелевскими границами, содержащей наночастицы алюминия / А.А. Звекон, А.В. Каленский, А.П. Никитин и др. // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38. – № 4. – С. 749-756.
12. Каленский, А.В. Оптические характеристики наночастиц никеля в прозрачных матрицах / А.В. Каленский, М.В. Ананьева, А.П. Никитин // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 11-1 (43). – С. 5-13.
13. Каленский, А.В. Расчет коэффициентов эффективности поглощения наночастиц алюминия в прозрачных средах / А.В. Каленский, И.Ю. Зыков, А.П. Никитин // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2015. – № 1. – С. 15-19.
14. Лукатова, С.Г. Расчет коэффициентов эффективности поглощения для композитов золото-ТЭН на второй гармонике неодимового лазера/ С.Г. Лукатова // Современные фундаментальные и прикладные исследования. – 2014. – № 1(12). – С. 95-98.
15. Каленский, А.В. Спектральная зависимость критической плотности энергии инициирования композитов на основе пентаэритриттетранитрата с наночастицами никеля / А.В. Каленский, М.В. Ананьева, А.А. Звекон и др. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2014. – Т.11. – №3. – С. 340-345.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ СПЛАВОВ ПРИ СВЕРХБЫСТРОЙ ДЕФОРМАЦИИ НАНОВОЛОКОН**

*О.В. Яшин, аспирант, О.В. Обидина, к.ф.-м.н, М.Д. Старостенков, д.ф.-м.н, профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул  
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д.48, каф. «Физика»  
E-mail: genphys@mail.ru*

В исследовании рассмотрен вопрос анизотропии свойств материалов, которая может быть обусловлена рядом факторов, таких как: различие атомного состава и плотности атомов в плоскостях, параллельных плоскости поперечного сечения бездефектного волокна (отличие наблюдается в нановолокнах  $\langle 111 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  и  $\langle 100 \rangle$   $\text{Ni}_3\text{Al}$ ) [1-6]; различием длин сторон элементарной ячейки по ортогональным направлениям в сплавах некубической симметрии (например в нановолокнах  $\langle 001 \rangle$  и  $\langle 010 \rangle$   $\text{CuAu I}$ ) [7-11].

Следует отметить, что ряд особенностей, наблюдаемых в процессе пластической деформации, может быть объяснен преимущественно геометрией кристаллической решетки, аналогично наблюдаемым явлениям на макроуровне [12-14]. В частности описанное далее для нановолокон  $\langle 111 \rangle$   $\text{Ni}_3\text{Al}$  формирование группы атомов, образующих участок стреловидной формы, которые одновременно сжимаются на межатомное расстояние, демонстрируя при этом циклическое появление и исчезновение в нановолокне дефектов в виде атомов с ГПУ топологией по первой координационной сфере.

**Математическая модель, методика и способы проведения эксперимента**

При моделировании деформации в исследуемых нановолокнах производилось периодически повторяющееся поступательное смещение атомов, составляющих абсолютно жесткие захваты вдоль оси растяжения нановолокна в противоположных направлениях друг от друга. Структура абсолютно жестких захватов оставалась неизменной на протяжении всего эксперимента. Недеформируемые абсолютно жесткие захваты смещались на 0,001 нм через каждые 0,1 пс. Суммарная скорость движения захватов составляла 20 м/с и соответствовала скорости деформации порядка  $10^9$  с<sup>-1</sup>. Точное значение скорости деформации зависело от длины исследуемого нановолокна. Такой порядок скоростей встречается в работах по моделированию деформации растяжения/сжатия [15-18]. При исследовании влияния скорости деформации на величину предела текучести скорость движения захватов была отличной от 20 м/с. Температура в компьютерном эксперименте устанавливалась в зависимости от целей конкретного эксперимента. В начале компьютерного эксперимента температура задавалась через скорости атомов. При деформации нановолокна на каждом шаге интегрирования производилась термостабилизация моделируемой системы по алгоритму Берендсена [19]. Структурная перестройка атомов внутри расчетного блока кристалла была реализована методом молекулярной динамики через решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений движения Ньютона, описывающей движение частиц.

Для расчета взаимодействия между атомами выбраны парные потенциальные функции Морза, параметры потенциала межатомного взаимодействия между атомами были заимствованы из работы [20]. Данный потенциал является хорошо апробированным для исследуемых материалов [21-25]. Для нановолокон ГЦК металлов использована методика анализа структуры (определения ГЦК, ГПУ и ОЦК топологии соседей на первой координационной сфере) деформированного нановолокна, предложенная в [26] и успешно примененная в работах отечественных ученых [27,28]. Для краткости, в работе использовали следующие обозначения видов нановолокон: в начале указывалось направление оси растяжения, затем материал, например, «нановолокно  $\langle 110 \rangle$  Ni<sub>3</sub>Al».

**Общие закономерности и явления для бездефектных нановолокон**

В результате исследования структурно-энергетических превращений происходящих в нановолокнах чистых ГЦК и ГЦТ металлов в процессе высокоскоростной деформации растяжения выявлено четыре основных стадии деформации: квазиупругая (I), пластическая (II), течения (III) и разрушения (IV). На каждой стадии деформации реализовывались характерные для нее механизмы структурно-энергетических превращений в нановолокне.

На *квазиупругой* стадии деформации происходило накопление вакансий, межузельных атомов и точечных дефектов замещения (ТДЗ). Количество точечных дефектов увеличивалось с ростом температуры эксперимента. Запасенная энергия деформации изменялась по параболическому закону, напряжение на захватах росло линейно, в ГЦК нановолокнах отсутствовали атомы с ГПУ топологией ближайших соседей. В конце первой стадии происходило проскальзывание частей нановолокна с образованием антифазных доменов (АФД). Границы АФД представляли собой сверхструктурные ДУ и антифазные границы (АФГ). Во время *пластической* деформации происходило проскальзывание блоков нановолокна преимущественно по плоскостям скольжения типа {111}. Механизмы структурно-энергетических превращений на этой стадии зависели от ориентации оси растяжения, материала нановолокна и температуры эксперимента. В исследуемых нановолокнах сплавов образовывались сверхструктурные дефекты в виде АФГ и АФД. На стадии *течения* перестройка атомной структуры происходила преимущественно в области шейки, образовавшейся в конце второй стадии. Величины запасенной энергии деформации и напряжения на захватах изменялись на данной стадии незначительно. После *разрушения* нановолокно разделялось на две части, перестройки атомной структуры не наблюдалось. На старте релаксации путем сверхбыстрого охлаждения до 0 К в некоторых случаях происходило образование новых дефектов или упорядочение структуры. Механизмы структурно-энергетических превращений при этом зависели от температуры, материала нановолокна и ориентации оси растяжения.

Сравнительный анализ показал, что на особенности структурно-энергетических превращений в бездефектных нановолокнах на всех этапах деформации влияла температура эксперимента. В бездефектных нановолокнах длительность первого этапа деформации и величина относительной деформации, соответствующая окончанию данного этапа, уменьшались с ростом температуры. С увеличением температуры эксперимента снижалось значение предела текучести нановолокнах.

На примере нановолокон  $\text{Ni}_3\text{Al}$  с ориентациями осей растяжения в направлениях  $\langle 001 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  и  $\langle 111 \rangle$  при температуре 300 К показано, что скорость деформации оказывает непосредственное влияние на особенности структурно-энергетических превращений в процессе одноосного растяжения, величину предела текучести и длительность первой стадии деформации (рис. 1).

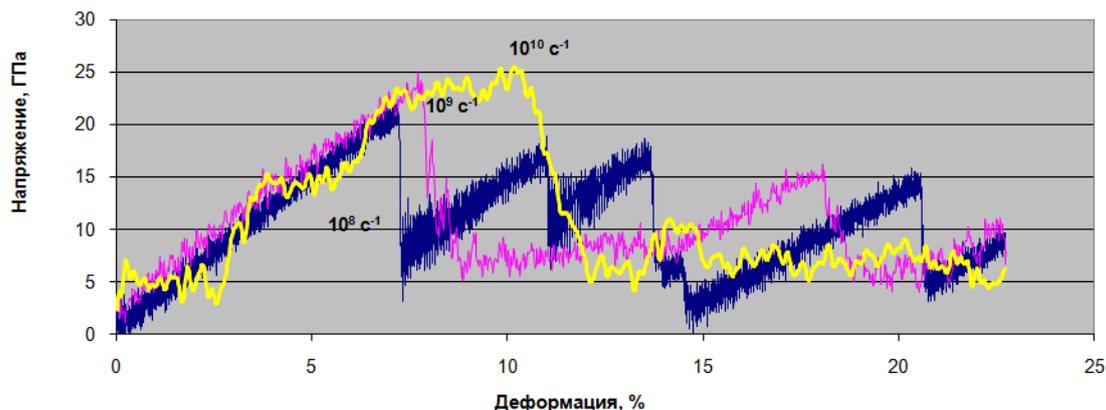


Рис. 1. Зависимость напряжения от величины относительной деформации для нановолокон  $\langle 111 \rangle$   $\text{Ni}_3\text{Al}$  при различных скоростях деформации

Из графиков следует, что величина предела текучести прямо пропорциональна скорости деформации. Подобные закономерности были установлены для ГЦК Au в работе [30]. С увеличением скорости деформации увеличивалось значение относительной деформации, при которой достигалось максимальное напряжение на захватах. При самой высокой из рассматриваемых скоростей деформации, составляющей порядка  $10^{10} \text{ c}^{-1}$ , вместо скольжения по плоскостям наиболее плотной упаковки при температуре 300 К наблюдалось разрушение структуры нановолокна.

#### Выявленные отличия для бездефектных нановолокон $\text{Ni}_3\text{Al}$

Размеры нановолокон составляли от 9270 до 13050 атомов. Плоскости боковых граней выбирались с наиболее плотной упаковкой, так как данное расположение атомов является наиболее энергетически выгодным, а, следовательно, наиболее устойчивым. Температура в компьютерном эксперименте устанавливалась равной 10 К, 300 К или 1400 К (то есть близкой к температуре плавления  $\text{Ni}_3\text{Al}$ ). Суммарная скорость движения захватов составляла 20 м/с и соответствовала скорости деформации от  $2,29 \cdot 10^9$  до  $3,39 \cdot 10^9 \text{ c}^{-1}$  в зависимости от длины исследуемого нановолокна. В результате исследования структурно-энергетических превращений происходящих в нановолокнах ГЦК интерметаллида  $\text{Ni}_3\text{Al}$  в процессе высокоскоростной деформации растяжения выявлены четыре стадии деформации, перечисленные выше.

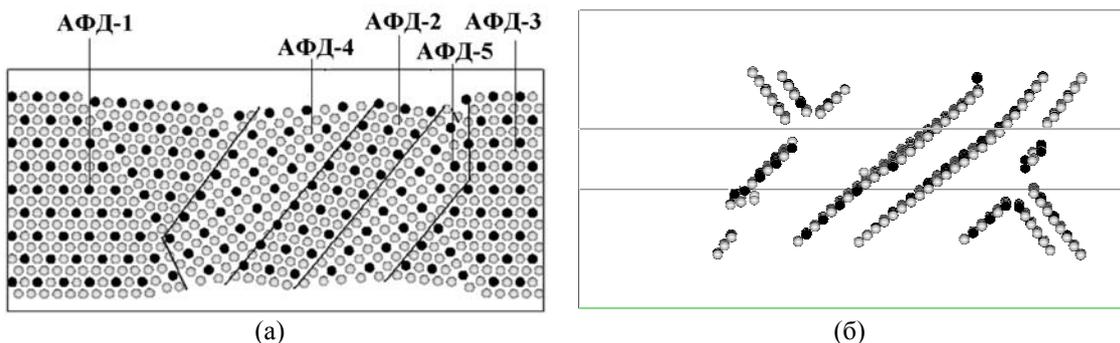


Рис. 2. Нановолокно  $\langle 110 \rangle$   $\text{Ni}_3\text{Al}$  на 70 пс: параллельно ориентированные АФД в нановолокне в плоскости (111) (а) и атомы с ГПУ топологией ближайших соседей (б) при температуре 10 К

Ориентация оси растяжения нановолокна оказывала непосредственное влияние на особенности структурно-энергетических превращений в нановолокнах  $\text{Ni}_3\text{Al}$  на второй стадии деформации в процессе одноосного растяжения.

В случае ориентации оси растяжения в направлении  $\langle 001 \rangle$  в нановолокнах наблюдалось скольжение атомных блоков преимущественно по плоскостям наиболее плотной упаковки типа  $\{111\}$ . При этом образовывались сверхструктурные ДУ и АФГ. При температурах 10 и 300 К в начале второй стадии деформации на боковой поверхности нановолокна видны линии скольжения, расположенные под углом  $35-45^\circ$  к оси растяжения.

При ориентации оси растяжения в направлении  $\langle 110 \rangle$  некоторые АФД образовывались путем поворота участков нановолокон (рис. 2 а и рис. 2 б).

В случае ориентации оси растяжения в направлении  $\langle 111 \rangle$  при температурах 10 и 300 К наблюдалось повторяющееся восстановление кристаллической структуры с исчезновением ДУ. На рис. 3 об этом свидетельствуют периодически появляющиеся и исчезающие атомы с ГПУ топологией ближайших соседей по первой координационной сфере. Длительность периодов, в течение которых структура нановолокна не разрушалась после рекристаллизации, и частота рекристаллизаций зависели от температуры и материала нановолокна.

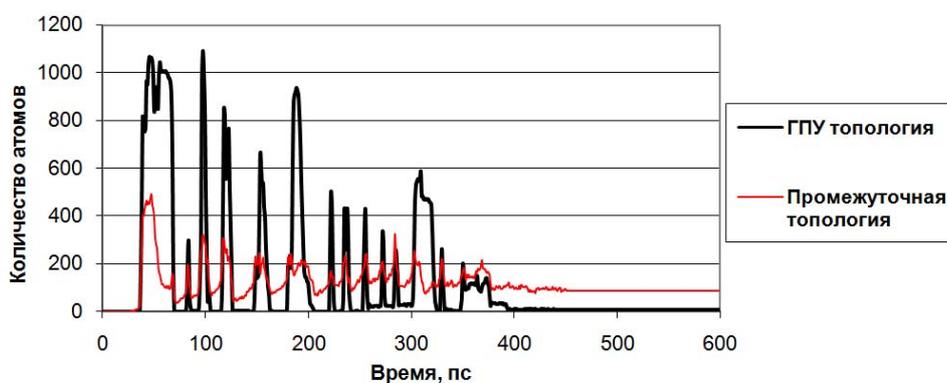


Рис. 3. График зависимости числа атомов с ГПУ и промежуточной топологиями ближайших соседей от времени в нановолокне  $\langle 111 \rangle$   $\text{Ni}_3\text{Al}$  при температуре 10 К

В результате движения атомных блоков, атомы, изначально располагавшиеся в одной плоскости (111), перестраивались и располагались в нескольких параллельных плоскостях (111). Наиболее значительное расщепление плоскостей семейства  $\{111\}$  происходило в центральной части нановолокна. Ближе к захватам от плоскостей  $\{111\}$  отделялись единичные атомы вблизи поверхности.

#### Выявленные отличия для бездефектных нановолокон $\langle 100 \rangle$ и $\langle 001 \rangle$ CuAu I

Исследование структурно-фазовых изменений, протекающих на атомном уровне в нановолокнах сплава CuAu I со сверхструктурой  $L1_0$ , при их деформации в направлениях  $\langle 100 \rangle$  и  $\langle 001 \rangle$  производились при температурах 10, 300 и 600 К (близкая к температуре плавления CuAu I). Получены значения длительности этапов деформации для нановолокон с осями растяжения в направлениях  $\langle 001 \rangle$  и  $\langle 100 \rangle$  ( $\langle 010 \rangle$ ). Численные результаты длительности этапов деформации представлены в таблице 1. Для нановолокон  $\langle 001 \rangle$  и  $\langle 100 \rangle$  CuAu I обнаружены четыре этапа деформации, описанные выше.

Таблица 1  
Длительность этапов деформации нановолокон с осями растяжения  $\langle 100 \rangle$  ( $\langle 010 \rangle$ ) и  $\langle 001 \rangle$  CuAu I при температурах 10, 300 и 600 К

Направление прилагаемой нагрузки	Температура эксперимента, К	Max напряжение на захватах, ГПа	I этап деформации, пс	II этап деформации, пс	III этап деформации, пс
$\langle 100 \rangle$ ( $\langle 010 \rangle$ )	10	8,5	70	225	100
$\langle 100 \rangle$ ( $\langle 010 \rangle$ )	300	10,2	55	245	65
$\langle 100 \rangle$ ( $\langle 010 \rangle$ )	600	11,5	50	285	55
$\langle 001 \rangle$	10	14,5	58(77)	147	50(97)
$\langle 001 \rangle$	300	13,2	55(75)	185	50(150)
$\langle 001 \rangle$	600	11,6	43(70)	157	200(175)

Для бездефектных нановолокон  $\langle 100 \rangle$  CuAu I наблюдается классическая обратная зависимость максимального напряжения на захватах от температуры эксперимента. В тоже время прямая зависимость значения максимального напряжения на захватах от температуры для нановолокон  $\langle 100 \rangle \langle \bar{0}10 \rangle$  CuAu I может быть объяснена обнаруженными особенностями структурно-энергетических превращений, которые не характерны для нановолокон CuAu I, деформируемых в направлении  $\langle 001 \rangle$  и для нановолокон ГЦК металлов [1-6]. Особенности структурно-энергетических превращений нановолокон  $\langle 100 \rangle \langle \bar{0}10 \rangle$  CuAu I проявляются следующим образом: на первой стадии деформации наблюдается расщепление биатомных плоскостей семейства  $\{100\}$  ( $\{010\}$ ) на две моноатомные плоскости, на второй стадии деформации происходит поворот центрального участка нановолокна и образование С-домена. Ввиду различия в расстояниях между атомными слоями направлениях  $\langle 100 \rangle$  и  $\langle \bar{0}10 \rangle$  на первой стадии наблюдалось последовательное расщепление атомных плоскостей семейства  $\{100\}$  на моноатомные плоскости, что привело к значительному (по сравнению с ориентацией оси деформации в направлении  $\langle 001 \rangle$ ) удлинению нановолокна на первой стадии без начала пластической деформации. Расщепление плоскостей семейства  $\{100\}$  на моноатомные наиболее интенсивно происходит в центральной части нановолокна. К окончанию первой стадии деформации расщепление плоскостей семейства  $\{100\}$  начинает происходить вблизи жестких захватов, что приводит к образованию трещины на границе раздела между абсолютно жесткими захватами и расчетным блоком нановолокна. В конце первой стадии деформации вблизи захватов регистрируются значительные атомные смещения. Напряжение на захватах достигает 8,4 ГПа.

Наиболее существенные различия, наблюдаемые в процессе структурно-энергетических превращений нановолокон CuAu I были следующими:

1. Откольная прочность (максимальное напряжение в конце первой стадии деформации) при всех рассматриваемых температурах выше для нановолокон с ориентацией оси растяжения в направлении  $\langle 001 \rangle$ , чем для нановолокон  $\langle 100 \rangle \langle \bar{0}10 \rangle$ . Величина разницы откольных прочностей уменьшается с ростом температуры, и практически совпадает при 600 К.

2. Длительность первого этапа деформации для нановолокон с ориентацией оси растяжения  $\langle 001 \rangle$  больше чем для нановолокон с ориентацией оси деформации  $\langle 100 \rangle \langle \bar{0}10 \rangle$ .

3. Длительность второго этапа деформации для нановолокон рассматриваемых ориентаций при температуре 10 К практически совпадают. При температурах 300 и 600 К длительность второго этапа деформации нановолокон  $\langle 001 \rangle$  CuAu I меньше чем  $\langle 100 \rangle \langle \bar{0}10 \rangle$  CuAu I.

4. Для нановолокон  $\langle 100 \rangle \langle \bar{0}10 \rangle$  CuAu I выявлены особенности структурно-энергетических превращений, которые проявляются следующим образом: на первой стадии деформации наблюдается расщепление биатомных плоскостей семейства  $\{100\}$  ( $\{010\}$ ) на две моноатомные плоскости, на второй стадии деформации происходит поворот центрального участка нановолокна и образование С-домена.

Полученные результаты пп. 1-4 согласуются с данными моделирования, полученными ранее для ГЦК нановолокон в работах [1-6].

При внесении вакансий в изначально бездефектное нановолокно наблюдалось уменьшение величины предела текучести с увеличением концентрации вакансий при температурах 10, 300 и 600 К. Данные результаты хорошо согласуются с полученными для нановолокон сплава Ni<sub>3</sub>Al [29].

### Резюме

Представленные результаты исследований показывают как общие закономерности для различных нановолокон на основе различных материалов, так и отличия, которые могут объясняться различным строением структуры и сил межатомного взаимодействия.

Общим для исследуемых нановолокон является: стадийность процессов деформации (выявлено четыре основные стадии деформации), влияние скорости деформации на величину предела текучести и длительность первой стадии деформации, влияние температуры на величину предела текучести. В общем случае в бездефектных нановолокнах с ростом температуры снижается величина предела текучести. В тоже время исключением являются нановолокна  $\langle 100 \rangle \langle \bar{0}10 \rangle$  CuAu I, где на зависимость предела текучести повлияли особенности на втором этапе деформации, которые могут быть объяснены геометрией решетки.

Отличия в характере структурно-энергетических превращений в процессе деформации обуславливается рядом факторов: организация структуры материала; ориентации (разная плотность и геометрия рисунка в плоскости поперечного сечения нановолокна); силы межатомных связей и размерный фактор.

Полученные результаты могут быть использованы для развития теории пластической деформации и при исследовании деформации нановолокон ГЦК и ГЦТ сплавов, а также для развития представлений об анизотропии свойств биметаллических нановолокон.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-58-04033 Бел\_мол\_а и БРФФИ в рамках проекта № T15PM-09, проектов РФФИ №№: 13-02-00301 А, 14-08-90416 Укр\_А, 14-02-98000 р\_Сибирь\_а, 12-02-33002 мол\_а\_вед, 15-52-61014 Египет\_а, 15-48-04127 р\_Сибирь\_а.*

Литература.

1. Старостенков М.Д., Яшин А.В., Дудник Е.А., Сеница Н.В. Исследование структурных превращений в сплаве  $Ni_3Al$  под действием одноосной деформации растяжением // Деформация и разрушение материалов. 2009. №6. С. 28-31.
2. Дудник Е.А., Яшин А.В., Дудник Д.В., Сеница Н.В. Влияние линейных дефектов, температуры и деформации на изменения дальнего порядка в сплаве  $Ni_3Al$  // Деформация и разрушение материалов. 2010. №12. С. 1-4.
3. Старостенков М.Д., Сосков А.А., Яшин А.В., Яшин О.В. Исследование зависимости предела текучести от температуры на примере бездефектных нановолокон чистых металлов Ni и Al и интерметаллида  $Ni_3Al$  // Наноинженерия. 2015. № 1 (43). С. 30-33.
4. Потекаев А.И., Старостенков М.Д., Сеница Н.В., Яшин А.В., Харина Е.Г., Кулагина В.В. Особенности структурной перестройки в нановолокне интерметаллида  $Ni_3Al$ , содержащего длиннопериодические парные термические антифазные границы, в процессе высокоскоростной деформации одноосного растяжения в направлении  $\langle 001 \rangle$  // Известия вузов. Физика. 2011. Т. 54. № 2. С. 48-55.
5. Старостенков М.Д., Сеница Н.В., Яшин А.В. Структурная перестройка в нановолокне  $Ni_3Al$ , содержащем планарные неконсервативные антифазные границы, при высокоскоростной одноосной деформации растяжения // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. 2010. Т. 15. № 3. С. 1072-1073.
6. Потекаев А.И., Старостенков М.Д., Сеница Н.В., Яшин А.В., Хорошилов Д.Е. Механизмы структурной перестройки в модели нановолокна интерметаллида  $Ni_3Al$ , содержащего длиннопериодические антифазные границы, в процессе высокоскоростной деформации одноосного растяжения // Известия вузов. Физика. 2010. Т. 53. № 8. С. 47-54.
7. Starostenkov M., Yashin A., Sinica N. Structural transformation in nanowires CuAu I with superstructure of  $L1_0$  of tetragonal symmetry at uni-axial tension deformation // Key Engineering Materials. 2014. Т. 592-593. С. 51-54.
8. Яшин А.В., Старостенков М.Д., Сосков А.А., Сеница Н.В. Структурная перестройка в нановолокне CuAu I при одноосной деформации растяжения в направлении  $\langle 100 \rangle$  // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т.9. №4-2. С. 640-645.
9. Яшин А.В., Чаплыгина А.А., Старостенков М.Д., Маркидонов А.В., Сеница Н.В., Мясниченко В.С., Сосков А.А. Структурная перестройка в нановолокне CuAu I при одноосной деформации растяжения в направлении  $\langle 001 \rangle$  // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2013. Т. 10. № 1. С. 93-97.
10. Яшин А.В., Романовский С.А., Старостенков М.Д. Структурная перестройка в нановолокне CuAu I при одноосной деформации растяжения // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 4-2. С. 2011-2014.
11. Старостенков М.Д., Яшин А.В., Сеница Н.В. Структурная трансформация нановолокна CuAu I со сверхструктурой  $L1_0$  тетрагональной симметрии при одноосной деформации растяжения // Письма о материалах. 2013. Т.3. №1. С. 45-49.
12. Теплякова Л.А., Лычагин Д.В., Беспалова И.В. Особенности пространственной организации сдвига на макроуровне в  $[-111]$ -монокристаллах алюминия // Физическая мезомеханика. 2006. Т. 9. № 2. С. 63-72.
13. Лычагин Д.В., Теплякова Л.А., Шаехов Р.В., Конева Н.А., Козлов Э.В. Эволюция деформационного рельефа монокристаллов алюминия с ориентацией оси сжатия  $[001]$  // Физическая мезомеханика. 2003. Т. 6. № 3. С. 75-83.
14. Лычагин Д.В., Теплякова Л.А. Первичная макрофрагментация сдвига в монокристаллах алюминия при сжатии // Письма в Журнал технической физики. 2003. Т. 29. № 12. С. 68-73.
15. Harold S. Park, Ken Gall, Jonathan A. Zimmerman. Deformation of FCC nanowires by twinning and slip, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2006, 54, 1862-1881

16. Wuwei Liang, Min Zhou Atomistic simulations reveal shape memory of FCC metal nanowires, *Physical Review B*, 73, 115409, 2006, 1-11
17. Oyeon Kum. Orientation effects of elastic-plastic deformation at surfaces: nanoindentation of nickel single crystals, *Nanotech*, 2004, V. 3, 111-114
18. S. Taninori, S. Shimamuro. Monte Carlo simulation study of mechanical properties of Au nanowires, *MSM*, 2000, 110-113
19. M. Sob, M. Friak, V. Vitek. Theoretical strength and onset of yielding in nanoindentation, *Nanotech*, 2002, V. 2, 279-282
20. Berendsen H.J.C., et al. Molecular-dynamics with coupling to an external bath // *J. Chem. Phys.* V. 81. № 8 (1984). P. 3684-3690.
21. Tsaregorodtsev A.I., Gorlov, N.V., Dem'yanov B.F., Starostenkov M.D. Atomic structure of antiphase boundaries and its impact on the lattice near the dislocations in ordered alloys with a superstructure  $L1_2$  // *Physics of Metals and Metallography*. V. 58. Ed. 2 (1984). P. 336-343.
22. Харина Е.Г., Старостенков М.Д., Полетаев Г.М., Ракитин Р.Ю. энергия активации самодиффузии по симметричным границам зерен наклона  $\langle 111 \rangle$  в интерметаллиде  $Ni_3Al$  // *Физика твердого тела*. 2011. Т. 53. № 5. С. 980-983.
23. Мартынов А.Н., Полетаев Г.М., Старостенков М.Д. Атомный механизм диффузии по малоугловым границам кручения в ГЦК металлах // *Письма о материалах*. 2011. Т. 1. № 1. С. 43-46.
24. Полетаев Г.М., Старостенков М.Д. Динамические коллективные смещения атомов в металлах и их роль в вакансионном механизме диффузии // *Физика твердого тела*. 2009. Т. 51. № 4. С. 686-691.
25. Dem'yanov B.F., Kustov S.L., Starostenkov M.D. Computer simulation of the interaction of vacancies with the special tilt grain boundaries // *Materials science and engineering: A*. 2004. Т. 387-389. № 1-2 SPEC. ISS. P. 738-742.
26. Полетаев Г.М., Старостенков М.Д., Пацева Ю.В. Ведущие механизмы самодиффузии в двумерных металлах // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2004. Т. 1. № 2. С. 124-129.
27. Van Swygenhoven H., Farkas D., Caro A. Grain-boundary structures in polycrystalline metals at the nanoscale // *Phys. Rev. B*. - 2000. - V. 62, № 2. - P. 831-838.
28. Крыжевич Д.С. Исследование зарождения пластической деформации в ГЦК материалах на атомном уровне. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.ф.-м.н. - Томск, 2009. - 17 с.
29. Псахье С.Г., Зольников К.П., Крыжевич Д.С., Липницкий А.Г. Молекулярно-динамическое исследование возможности термофлуктуационного механизма генерации структурных дефектов при высокоскоростной деформации // *Письма в ЖТФ*. – 2006. – Т. 32, № 3. – С. 14-18.
30. Яшин А.В. Исследование особенностей и стадий деформации нановолокон ряда металлов и сплава  $Ni_3Al$  на основе ГЦК решетки // *Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*. Барнаул, 2010.
31. Koh S.J.A., Lee H.P. Molecular dynamics simulation of size and strain rate dependent mechanical response of FCC metallic nanowires // *Nanotechnology*. - 2006. – V. 17. – P. 3451–3467.

## **ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РОСТА КЛАСТЕРОВ МЕДИ ПРИ СИНТЕЗЕ МЕТОДОМ КОНДЕНСАЦИИ**

*И.В. Чепкасов, к.ф.-м.н.,*

*Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,*

*655017, г. Абакан, пр. Ленина 90*

*E-mail: ilya\_chepkasov@mail.ru*

Возросший в последнее время интерес к разработке новых и совершенствованию уже имеющихся методик получения нанодисперсных материалов связан с тем, что именно этот класс технологических веществ находит все более широкое применение в качестве исходного сырья при производстве самых разнообразных наноустройств [1]. В первую очередь это обусловлено тем, что при переходе от объемной фазы к состоянию с размером частиц менее 100 нм резко изменяется ряд фундаментальных свойств материала. Такое изменение физических свойств не могло не заинтересовать прикладную науку. Однако при этом оказалось не решена очень важная проблема получения наночастиц заданного размера, формы (полиэдрической, сферической или цепочечной) и достижения совершенства граничной структуры. С этой точки зрения именно компьютерное моделирование при

использовании физически обоснованных потенциалов межатомного взаимодействия позволяет на атомном уровне выявить основные закономерности нуклеации, роста нанокластеров, последовательного и бездефектного формирования координационных оболочек.

Исходя из этого, в представляемой работе методом молекулярной динамики с использованием модифицированного потенциала сильной связи (*tight-binding*) [2] были изучены базовые механизмы, ответственные за формирование нанокластеров при процессах реального синтеза. В качестве имитируемого метода получения сверхмелкодисперсных материалов был выбран метод конденсации из газовой фазы, так как именно он играет важную роль при промышленном производстве различных наноматериалов [3].

Начальной точкой процесса конденсации была конфигурация, содержащая 85000 атомов Cu при начальной температуре  $T_i = 1000$  К, достаточно характерной для процессов синтеза из газовой среды. Далее система охлаждалась с фиксированной скоростью до температуры жидкого азота (77 К). В зависимости от плотности пара и температуры окружающего пространства возможны различные механизмы роста кластеров. На наш взгляд, основным механизмом, влияющим на образование и рост кластеров из газовой фазы, являются процессы объединения (коагуляции) первичных частиц. Наиболее стабильные структуры получаются, когда первичные частицы сливаются в единый кластер сферической формы. Такое возможно, если в процессе синтеза поверхностная диффузия столкнувшихся частиц приводит к массивованному переносу материи, и как следствие, к полному объединению первичных кластеров.

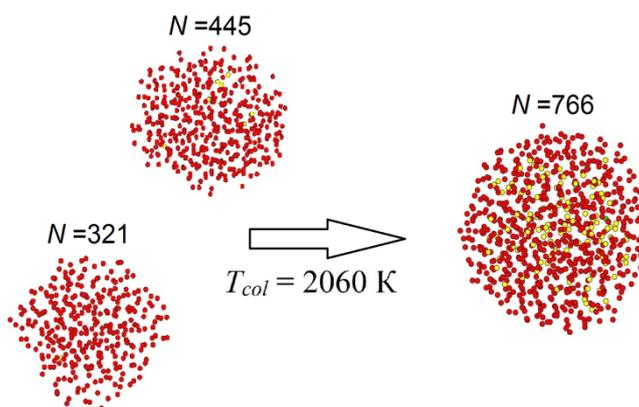


Рис. 1. Образование кластера  $\text{Cu}_{766}$  в результате объединения кластеров  $\text{Cu}_{321}$  и  $\text{Cu}_{445}$  при температуре  $T_{col} = 2060$  К

Нами были рассмотрены процессы роста частиц в зависимости от времени конденсации. Было выявлено, что если процессы коалесценции протекают намного быстрее чем время между столкновениями кластерных фрагментов, то у частицы есть возможность для развития своей внешней формы в полноценную сферическую, как это показано на примере кластера  $\text{Cu}_{766}$  (рис. 1). Даная частица сформировалась в результате столкновения и объединения первичных частиц  $\text{Cu}_{321}$  и  $\text{Cu}_{445}$ . Формирование единой формы в объединенной частице произошло из-за того, что процесс столкновения первичных кластеров  $\text{Cu}_{321}$  и  $\text{Cu}_{445}$  происходил на ранних стадиях конденсации (через примерно 0,2 нс моделирования), когда в системе еще сохранялась довольно высокое значение температуры, что и позволило столкнувшимся частицам полностью изменить свою форму за счет процессов диффузии атомов.

Наоборот, если процессы коалесценции медленные, то первичные частицы слипаются без объединения. И в конечной частице начальные кластеры остаются опознаваемыми в виде отростков в форме «жемчужины» или некой фракталоподобной структуры.

Замедление процессов коалесценции может произойти и в том случае, если к системе из двух столкнувшихся и частично объединенных частиц присоединится третья, и тогда процесс формирования общего кластера заморозится, что в итоге и приведет к формированию двух отростков, как это показано на примере кластера  $\text{Cu}_{1856}$  (рис. 2).

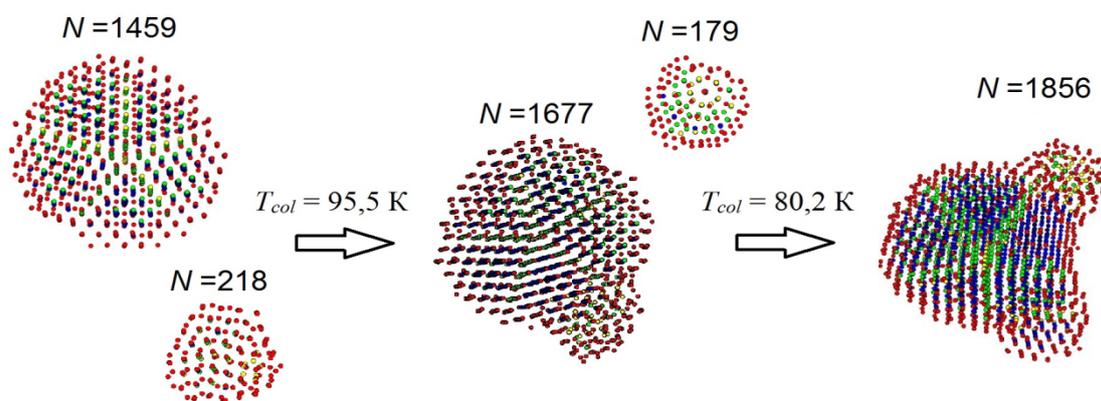


Рис. 2. Образование кластера  $\text{Cu}_{1856}$  в процессе поэтапного объединения первичных частиц

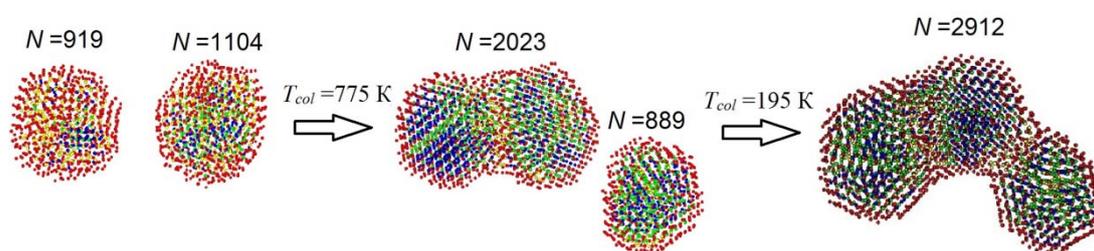


Рис. 3. Образование кластера  $\text{Cu}_{2912}$  в процессе поэтапного объединения первичных частиц

Формирование частицы  $\text{Cu}_{1856}$  происходит в процессе поэтапного присоединения к довольно большому первичному кластеру  $\text{Cu}_{1459}$  более мелких частиц  $\text{Cu}_{218}$  и  $\text{Cu}_{179}$ . Между этими двумя последовательными столкновениями прошло довольно много времени (а именно 0,7 нс), за которое кластер  $\text{Cu}_{218}$  смог закрепиться за первичной частицей  $\text{Cu}_{1459}$  и изменить свою структуру из икосаэдрической в ГЦК. При столкновении данных частиц в системе наблюдалась устойчивая низкая температура, близкая к конечной (объединение  $\text{Cu}_{218}$  и  $\text{Cu}_{1459}$  произошло при температуре 95,5 К, а  $\text{Cu}_{179}$  и  $\text{Cu}_{1677}$  при 80,2 К), что не позволило первичным кластерам сформировать конгломерат с единой сферической формой.

Данный эффект объясняется тем, что при диффузии поверхностных атомов при коалесценции, появление еще одного места соединения вызывает перераспределение атомов на поверхности первичной частицы, что и замедляет весь процесс объединения. Еще больший эффект замедления процесса формирования единого кластера наблюдается в том случае, если к двум объединяющимся частицам присоединяется третья близкая к ним, как это показано на рис.3. В этом случае средняя частица  $\text{Cu}_{1104}$  становится прослойкой между  $\text{Cu}_{919}$  и  $\text{Cu}_{889}$ . В итоге формирование конечной частицы  $\text{Cu}_{2912}$  идет за счет поэтапного зацепления первичных кластеров друг за другом, формируя в конечном итоге червеобразную форму конгломерата. Подобные конгломераты могут представлять собой очень длинные цепочечные частицы, сформированные объединением более чем 20 первичных кластеров.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что в зависимости от температуры и размеров объединяющихся первичных частиц процесс формирования единого нанокластера может проходить по нескольким сценариям. Если столкновения первичных частиц произошло на начальных этапах конденсации при довольно высоком значении температуры в системе, то превалирует вероятность того, что частицы смогут сформировать единый кластер преимущественно сферической формы за счет интенсивных процессов самодиффузии поверхностных атомов в местах столкновения первичных частиц. Если же объединение идет при относительно низких температурах и присоединения частиц к первичному кластеру происходит по цепочечному сценарию, то в этом случае в процессе агломерации образуются довольно большие кластеры с явно выраженными червеобразными формами.

В зависимости от конкретных областей применения синтезированных частиц либо в электронике, где необходимы частицы небольшого размера со сферичной внешней формой, или в каталитических реакциях, где определяющим фактором эффективности является максимальная площадь по-

верхности можно регулируя температурные параметры системы добиться определенной частоты реализации того или иного сценария формирования нанокристаллических частиц.

*Представляемая работа была выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ и частично при поддержке гранта РФФИ № 15-42-04164 р\_сибирь\_а.*

Литература.

1. Weber A.P., Davoodi P., Seipenbusch M. and Kasper G. Size effects in the catalytic activity of unsupported metallic nanoparticles. // Journal of Nanoparticle Research. 2003. V. 5. P. 293.
2. Cleri F., Rosato V. Tight-binding potentials for transition metals and alloys. // Phys. Rev.B. 1993. V. 48. P. 22.
3. Макаров Г.Н. Экспериментальные методы определения температуры и теплоты плавления кластеров и наночастиц. // УФН. – 2010. – Т. 180. – №2. –С. 185.
4. Alayan R., Arnaud L., Broyer M., Cottancin E., Lermé J., Vialle J. L. and Pellarin M. Morphology and growth of metal clusters in the gas phase: A transition from spherical to ramified structures. // Phys. Rev. B. – 2006. –V.73. – P. 125444.

## МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРОЕНИЕ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ

И.В. Чепкасов к.ф.-м.н.,

Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,

РФ, 655017, г. Абакан, пр.Ленина 90

E-mail: [ilya\\_chepkasov@mail.ru](mailto:ilya_chepkasov@mail.ru)

Изучение отдельных наночастиц является в настоящее время одной из наиболее интенсивно развивающихся областей исследований в физике. Из всего спектра используемых сейчас металлических наночастиц особое место занимают кластеры меди. Данные частицы обладают многими уникальными свойствами и относительно недороги в производстве. Получение наночастиц меди в довольно больших количествах с реализацией необходимых, в зависимости от сферы применения свойств, предъявляет очень серьезные требования к методам их получения. Одним из перспективных способов синтеза нанодисперсных частиц является метод испарения и конденсации металлов в атмосфере инертного газа. Однако основной проблемой масштабного применения металлических частиц синтезированных из газовой фазы в высокоточных технологиях является большой процент кластеров с неидеальной структурой и формой [1]. Для решения данной проблемы в экспериментально-промышленных установках по синтезу нанопорошков металлов может широко использоваться метод термической обработки получаемых частиц, как заключительный этап синтеза из газовой фазы, следующий за коалесценцией и агломерацией.

В данной работе методом молекулярной динамики с использованием потенциала сильной связи (*tight-binding*) [2] проводилось компьютерное моделирование термической обработки наночастиц меди синтезированных из газовой среды. С целью изучения изменения формы и структурных свойств частиц в зависимости от температуры был смоделирован постепенный нагрев от 100 до 1200 К получаемых при конденсации нанокластеров меди с шагом по температуре в 100 К. Моделирование нагрева проводилось в рамках термостата Нозе – Гувера [3]. При каждой температуре частицы выдерживались от 3 до 4 нс в зависимости от размера кластера. Исследуемые кластеры выбирались таким образом, чтобы максимально полно отразить различия в размерах, исходной форме и структуре получаемых при конденсации частиц.

При подобном моделировании было отмечено две типичные тенденции:

1) если частица уже обладала достаточно правильным внутренним строением, то при нагреве кластера до температур порядка 300-500 К происходит дальнейшее упорядочение структуры и число атомов соотношенных с какой либо плотноупакованной координацией возрастает до 55 - 60%. Разрушение дальнего порядка начинается примерно при  $T = 600$  К, а при  $T = 1100$  К наблюдается полное расплавление частицы;

2) при отсутствии ярко выраженного плотноупакованного ядра кластера вследствие интенсивно протекающих при нагреве кинетических процессов происходит образование подобного ядра в области температур от  $T = 300$  К до  $T = 700$  К. С дальнейшим ростом температуры также наблюдается разрушение дальнего порядка с завершением процесса к 1100 К.

Для объяснения подобного поведения более подробно рассмотрим процессы атомной перестройки кластеров при условии термического воздействия. На рис. 1 представлены «мгновенные снимки» кластера  $\text{Cu}_{1460}$  при кратковременном термическом воздействии. После завершения процесса синтеза из газовой фазы данный кластер имел четко выраженную цепочечную (червеобразную) форму, часто наблюдаемую при реальных экспериментах по газофазному синтезу металлических наночастиц. Начиная с температуры  $T = 100$  К и до  $T = 400$  К практически никаких изменений в кластере  $\text{Cu}_{1460}$  не происходит, но при повышении температуры до  $T = 500$  К форма кластера начинает переходить из цепочечной в сферичную. О перестройке структуры кластера говорит и снижение доли числа атомов с локальной плотной упаковкой в частице. Интенсивные процессы объединения, вызванные термической обработкой в частице, приводят к незначительному разрушению внутренней структуры прослойки соединяющей две части кластера, и, как следствие, уменьшению доли числа плотноупакованных атомов. При  $T = 700$  К кластер принимает уже сферичную форму с явно выраженной общей декаэдрической структурой, сохраняемой вплоть до температуры плавления.

Для всех исследуемых частиц при увеличении температуры доля числа атомов с локальной плотной упаковкой растет и достигает своего пика при температурах от 400 до 700 К в зависимости от размера частицы и упорядоченности внутренней структуры. Таким образом, для того, что бы улучшить внутреннюю морфологию частиц методом термического воздействия, нет необходимости повышать температуру термообработки выше  $T = 700$  К, хотя внешняя конфигурация кластера в этом случае не всегда успевает принять идеальную сферическую форму и может находиться на промежуточном этапе перестройки представляя собой эллипсоид. Подобные результаты изменения внутренней структуры и внешней формы червеобразных кластеров наблюдаются и в экспериментальных исследованиях поэтапной термической обработки наночастиц переходных металлов [5].

Однако не во всех исследуемых частицах процесс термического воздействия привел к формированию в кластере единой формы и структуры. На рис. 2 представлен кластер  $\text{Cu}_{1771}$ , который в процессе термической обработки не смог сформировать единой формы и на протяжении всего процесса нагревания представлял собой две частицы с различным внутренним строением. При нагревании данного кластера от  $T = 100$  К до  $T = 800$  К составляющие его части приобрели практически сферичную форму с одновременным сокращением площади соприкосновения между собой. При дальнейшем повышении температуры происходит полное расплавление частицы без объединения взаимодействующих сегментов (рис. 2 б).



Рис. 1. Эволюция кластер  $\text{Cu}_{1460}$  в зависимости от температуры нагрева: а)  $T = 100$  К, б)  $T = 1100$  К

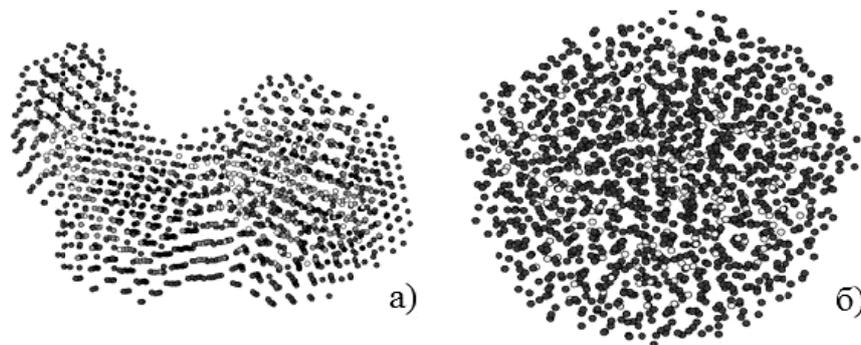


Рис. 2. Эволюция кластера  $\text{Cu}_{1771}$  в зависимости от температуры нагрева: а)  $T = 100$  К, б)  $T = 1200$  К

Было выдвинуто предположение, что подобное поведение частиц при термической обработке может быть следствием процессов агломерации идеальных сферических кластеров с икосаэдрическими структурами при довольно низких температурах. Вследствие этого кинетических энергий столкновения частиц было не достаточно для активации взаимодиффузии поверхностных атомов и за счет сил межатомного взаимодействия кластеры просто «прилипали» друг к другу. Так как икосаэдрическая структура соответствует минимальному значению энергии, то при дальнейшем нагреве первичные, слабо связанные между собой икосаэдрические кластеры сохраняли такое построение своих атомов с одновременным превращением своей формы в максимально возможную сферу.

Таким образом, в результате проведенного моделирования термического воздействия на синтезированные из газовой фазы частицы меди можно сделать вывод о том, что всего у 70% массива исследуемых кластеров в процессе термообработки наблюдалось полное упорядочение внутренней структуры и внешней формы. Оставшиеся 30% кластеров в процессе термоактивируемой релаксации не смогли сформировать единую форму и структуру, а представляли собой конкурирующие части одной частицы с сопоставимыми энергиями поверхностей и химическими потенциалами. В процессе структурирования каждая часть кластера стремилась уменьшить свою поверхностную энергию приводя внешнюю форму в сферическую, с одновременным уменьшением зоны соприкосновения частиц [6].

*Представляемая работа была выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ и частично при поддержке гранта РФФИ № 15-42-04164 p\_сибирь\_a.*

Литература.

1. Tsyganov S., Kästner J., Rellinghaus B., Kauffeldt T., Westerhoff F., Wolf D. Analysis of Ni nanoparticle gas phase sintering. // Phys. Rev. B. – 2007. – V. 75. – P. 045421.
2. Cleri F., Rosato V. Tight-binding potentials for transition metals and alloys. // Phys. Rev.B. 1993. V. 48. P. 22.
3. Hoover W.G. Canonic dynamics: Equilibrium phase-space distribution. // Phys. Rev. A. – 1985. – V. 31. – P. 1965.
4. Demtröder W. Molekülphysik: Theoretische Grundlagen und experimentelle Methoden. – München: Oldenbourg, 2000. – 460 p.
5. Martin H. Magnusson, Knut Deppert, Jan-Olle Malm, Jan-Olov Bovin and Lars Samuelson Gold nanoparticles: Production, reshaping, and thermal charging. // Journal of Nanoparticle Research. – 1999. – V. 1. – P. 243.
6. Гафнер Ю.Я., Гафнер С.Л., Чепкасов И.В. Роль термического воздействия на организацию из газовой фазы нанокластеров меди и никеля. // ЖЭТФ. – 2010. – Т. 138. – №4. – С. 687.

### **ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ИНТЕРКАЛАТНОМ СОЕДИНЕНИИ ДИХАЛЬКОГЕНИДА ЦИРКОНИЯ**

*З.А. Ягафарова, к.ф.-м.н, доц., Г.Р. Нигматуллина, студент*

*Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета*

*453103, РБ, г. Стерлитамак, пр. Ленина, 47*

*E-mail: Zulfiya\_Abdul@mail.ru*

Проведены исследования кинетических характеристик и кристаллической структуры интеркалатного соединения на основе дихалькогенида циркония  $Ag_xZrSe_2$  в зависимости от состава и температуры. Установлены температуры фазовых переходов. Данные расчетов кристаллической структуры коррелируют с данными дериватографических исследований.

Одними из первых интеркалированных СДПМ (слоистых дихалькогенидов переходных металлов), вызвавших интерес с практической точки зрения, были дихалькогениды ванадия и хрома. Интеркаляция их литием, сделало первого подходящим для использования в качестве электрода в электрохимических батареях, второго – в качестве сверхпроводника [1].

Соединения на основе  $ZrX_2$  (X=S, Se, Te) относятся к широкому классу слоистых дихалькогенидов переходного металла (СДПМ). Данные материалы являются весьма перспективными в качестве исходных решеток-матриц для интеркалирования и могут использоваться как электродные материалы новых поколений химических источников тока.

Одним из замечательных свойств дихалькогенов циркония является их способность кристаллизоваться в квазидомерную структуру, состоящую из слоев, в которых подслои атомов переходного металла заключен между двумя подслоями атомов халькогена (серы, селена или теллура). Структуру СДПМ мож-

но представить в виде набора структурных блоков—"сэндвичей" состоящих из слоя атомов переходного металла, заключенного между двумя слоями атомов халькогена.

Слабость сил, связывающих "сэндвичи", является, по-видимому, причиной легкости, с какой в пространстве между ними (в так называемую Ван-дер-Ваальсовскую щель) могут быть внедрены (интеркалированы) многие атомы, ионы или органические молекулы, являющиеся электронными донорами.

Электростатические силы между положительно заряженными слоями интеркаланта и отрицательно заряженными "сэндвичами" стабилизируют подобные слоистые структуры.

Атомы переходного металла и атомы халькогена образуют плоские гексагональные решетки. Существует две различные возможности расположения халькогенных решеток относительно решетки переходного металла, приводящие к двум типам координации: тригонально-призматической и октаэдрической (последняя может иметь тригональные искажения).

Октаэдрическая координация предпочтительна, если связи преимущественно ионные или если радиус атомов лиганда очень большой. Другим важным фактором является взаимное расположение энергетических уровней *s*-, *p*- и *d*- состояний и число несвязанных электронов, не участвующих в связи. Ковалентные связи присущи для переходных металлов с низкой *d*- конфигурацией ( $d^0$ ,  $d^1$ ,  $d^2$ ), слоистые составы ионов переходного металла, имеющие высокую *d* конфигурацию ( $d^n$ ,  $n \geq 3$ ) показывают исключительно октаэдрическую координацию. Атомы переходного металла групп IVB, VB, и VIB с маленькими значениями *d* кристаллизуются в обеих структурах. В этих материалах, выбор зависит от отношения радиуса катиона к радиусу аниона и доли ионности характера связи металл-халькоген. Расчет зонной структуры СДПМ  $ZrX_2$  получен с использованием метода атомных орбиталей. Согласно расчету в этих соединениях атомы Zr шестикратно координированы атомами халькогена с локальной кубической симметрией, а элементарная ячейка имеет один атом Zr и два атома халькогена. Ось *z* кристалла, которая обычно выбирается вдоль *c*-оси, находится под углом  $45^\circ$  к шести осям симметрии второго порядка. Валентная зона в этом соединении образована орбиталями, сосредоточенными в основном на атомах халькогена, в то время как образующие зону проводимости *d*-орбитали сосредоточены на атомах металла. При образовании энергетических зон происходит смешивание атомных орбиталей. Это смешивание может происходить для различных орбиталей одного и того же атома или для орбиталей различных атомов в элементарной ячейке. Оценки показывают, что *d*-подобная зона проводимости может содержать до 25% примесей *p*-орбиталей и, аналогично, валентная *p*-подобная зона до 25% *d*-орбиталей [2]. Орбитали  $d_{yz}$  и  $d_{zx}$  направлены вдоль связи металл – халькоген и поэтому довольно сильно смешаны с *p*-орбиталями халькогена. Это увеличивает энергию  $d_{yz}$ ,  $d_{zx}$ -зон из-за взаимодействия связующих и разрыхляющих орбиталей.

Поэтому для орбиталей  $d_{xy}$  и  $d_{x^2-y^2}$ , лежащих в плоскости (*XY*) точно посередине между слоями халькогена, смешивание с *s*-, *p*-орбиталями халькогена оказывается большим, чем для  $d_z^2$ -орбитали, хотя и меньшим, чем для  $d_{yz}$ ,  $d_{zx}$ -орбиталей. Это приводит к тому, что самую меньшую энергию из *d*-орбиталей имеет  $d_z^2$ -орбиталь. Эта орбиталь, будучи направлена вдоль оси *c*, слабо перекрывается с  $d_z^2$ -орбиталями соседних атомов как в плоскости того же слоя, так и в соседних слоях, образует узкую зону с шириной от 0.5-2 эВ.[2, 3]. Являясь самой нижней из *d*-зон,  $d_z^2$ -зона определяет многие оптические и электронные свойства СДПМ. Электронная структура СДПМ зависит от симметрии координации атомов переходного металла атомами халькогена.

Характерной особенностью интеркалирования в СДПМ является его обратимость. Интеркаланта, попадая в решетку слоистого соединения, располагаются в Ван-дер-Ваальсовой щели. Установлено, что возможна интеркаляция СДПМ только объектами, являющимися электронными донорами. Это отличает СДПМ от других соединений, способных к интеркаляции, которые могут быть интеркалированы как донорными, так и акцепторными примесями.

В настоящей работе приводятся экспериментальные результаты по исследованию особенностей кристаллической структуры, электронных кинетических свойств СДПМ диселенида циркония интеркалированного серебром. Эксперименты проводились на поликристаллических образцах  $Ag_xZrSe_2$  ( $x=0-0,25$ ). Индексирование дифрактограмм интеркалированных составов показывает, что тригональная симметрия решетки  $ZrSe_2$  при внедрении серебра в СДПМ сохраняется. Параметры кристаллической решетки октаэдрически координированной  $Ag_{0,25}ZrSe_2$ , полученные после уточнения, оказались равными  $a=3.77(2)$  Å и  $c=6.12(4)$  Å и очень близкими значениям параметров исходной решетки-матрицы ( $a=3.77(6)$  Å ;  $c=6.14(7)$  Å для  $ZrSe_2$ ). Среди возможных пространственных групп для  $Ag_xZrSe_2$ , была выбрана группа  $P\bar{3}m1$ , как и для  $ZrSe_2$ . Первоначальные координаты циркония и селена взяли равными (0,0,0) и  $(1/3, 2/3, z)$ , где  $z \approx 0,75$ . Результаты этих расчетов объединены в таблице 1.

Таблица 1  
 Результаты расчета рентгенографических данных для  $Ag_xZrSe_2$  ( $0 < x < 0.25$ ) при комнатной температуре ( $CuK_{\alpha}$ -излучение,  $\lambda = 1.540 \text{ \AA}$ )

Параметры ячейки	Содержание серебра в $Ag_xZrSe_2$										
	0.01	0.05	0.10	0.175	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.25
a, $\text{\AA}$	3,77(6)	3,77(5)	3,77(7)	3,77(6)	3,77(8)	3,77(6)	3,77(4)	3,77(6)	3,77(4)	3,77(2)	3,77(3)
c, $\text{\AA}$	6,14(7)	6,14(6)	6,14(7)	6,14(5)	6,14(0)	6,13(5)	6,13(2)	6,13(0)	6,13(0)	6,12(6)	6,12(4)

Параметры элементарной ячейки интеркалированной фазы  $Ag_{0.25}ZrSe_2$  в зависимости от температуры определяли методом нейтронной дифракции (дифрактометр ДН-2, ОИЯИ, ЛНФ, г. Дубна).

Таблица 2  
 Результаты расчетов параметра решетки  $Ag_{0.25}ZrSe_2$  от температуры

Параметры решетки	Температура				
	300 К	373 К	473 К	573 К	673 К
a, $\text{\AA}$	3.7706	3.7731	3.7819	3.7878	3.7709
c, $\text{\AA}$	6.1281	6.1353	6.1508	6.1660	6.1400
V, $\text{\AA}^3$	75.45	75.64	76.19	76.62	75.57

У нейтронограмм, полученных при температурах 373, 473, 573, 673 К, с увеличением температуры резко возрастал фон, но дополнительные линии не возникают. Все дифрактограммы индицируются в гексагональной сингонии. В таблице 2 приводятся результаты расчетов.

Были проведены исследования кинетических свойств: электропроводности и коэффициента термоЭДС для двух составов  $Ag_xZrSe_2$  в области гомогенности при  $x=0.20$  и  $x=0.25$  в диапазоне от 100 до 450 К. Из кривых зависимости определены знаки основных носителей заряда, энергия активации и характер проводимости для исследуемых соединений в данном интервале температур.

Используя метод дифференциального термического анализа (ДТА) были получены кривые нагревания (охлаждения) для исследуемого образца (рис. 1). Метод ДТА обладает достаточно высокой чувствительностью, в эксперименте регистрируется изменение во времени разности температур  $dT$  между исследуемым образцом и образцом сравнения, не претерпевающим изменений в данном интервале температур.

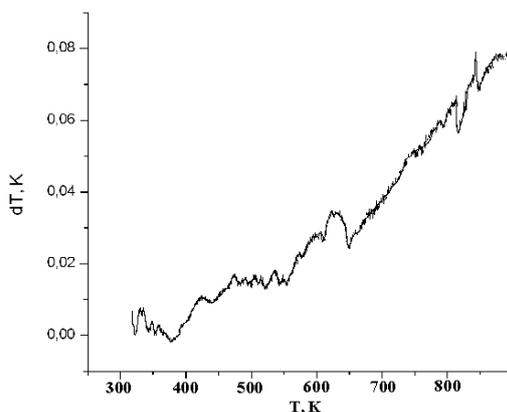


Рис. 1. ДТА-термограмма соединения  $Ag_{0.25}ZrSe_2$

тепловому эффекту. При температурах 380 К и 820 К также наблюдается аномалии зависимости сигнала ДТА – минимумы на кривой зависимости, соответствующие эндотермическому эффекту.

Литература.

1. Рао Н.Р., Гопалакршнан Дж. Новые направления в химии твердого тела. – Новосибирск.: Наука, 1990. – 520 с.
2. Bullett D.W. Electronic band structure and bonding in transition metal layered dichalcogenides by atomic orbital methods // J. Phys. C: Solid State Phys. –1978. –Vol.11. –P.4501–4514.
3. Rouxel J. Structural chemistry of layered materials and their intercalates // Physica –1980. –Vol.99B. –P.3–11.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

*К.А. Абдрасулов, студ. группы 10Б30, А. Курманбай, студент группы 17В41,*

*научный руководитель: Полицинский Е.В., к.пед.н., доцент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Рентгенологические обследования являются одним из наиболее распространенных в современной медицине. Рентгеновское излучение используется для получения простых рентгеновских снимков костей и внутренних органов, флюорографии, в компьютерной томографии. Исходя из того, что рентгеновское излучение относится к группе радиационных излучений, оно (в определенной дозе) может оказывать негативное влияние на здоровье человека. Проведение большинства современных методов рентгенологического обследования подразумевает облучение обследуемого ничтожно малыми дозами радиации, которые совершенно безопасны для здоровья человека. Рентгенологические методы обследования используются гораздо реже в случае беременных женщин и детей, однако даже у этих категорий больных, в случае необходимости, рентгенологическое обследование может быть проведено, без существенного риска для развития беременности или здоровья ребенка [1, 2, 3].

Целью нашей работы является определение влияния рентгеновских лучей на организм человека.

Рентген Вильгельм (1845-1923) – немецкий физик, открывший в 1895 г. коротковолновое электромагнитное излучение - рентгеновские лучи. Открытие рентгеновских лучей оказало огромное влияние на все последующее развитие физики, в частности привело к открытию радиоактивности. Первая Нобелевская премия по физике была присуждена Рентгену. Рентген способствовал быстрому распространению практического применения своего открытия в медицине. Конструкция созданной им первой рентгеновской трубки для получения рентгеновских лучей сохранилась в основных чертах до настоящего времени [4].

Было установлено, что это излучение обладает целым рядом удивительных свойств, которое позволяет использовать его для получения информации о внутреннем строении человеческих органов без вскрытия.

После открытия рентгеновского излучения, обнаружилось и его вредное биологическое действие. Оказалось, что новое излучение может вызвать что-то вроде сильного солнечного ожога, сопровождающегося более глубоким и стойким повреждением кожи. Появлявшиеся язвы нередко переходили в рак. Во многих случаях приходилось ампутировать пораженные органы, случались и летальные исходы. Впоследствии было установлено, что поражения кожи можно избежать, уменьшив время и дозу облучения, применяя экранировку (например, свинец) и средства дистанционного управления. Но постепенно выявились и другие, более долговременные последствия рентгеновского облучения, которые были затем подтверждены и изучены на подопытных животных.

Биологические эксперименты на мышах, кроликах и мушках (дрозофилах) показали, что даже малые дозы систематического облучения приводят к вредным генетическим эффектам. Большинство генетиков признает применимость этих данных к человеческому организму.

**Рентгенология** – раздел радиологии, изучающий методы диагностики различных заболеваний с помощью рентгеновских лучей (рентгенодиагностика) и методы лечения заболеваний с помощью рентгеновских лучей (рентгенотерапия), а также воздействие на организм человека рентгеновского излучения, возникающие вследствие этого заболевания и патологические состояния, их лечения и профилактики.

**Скиалогия** – раздел рентгенологии, изучающий закономерности образования рентгеновского изображения [5].

### **Что же такое рентген?**

#### Рентген:

- один из самых распространенных методов диагностики в современной медицине, который позволяет правильно диагностировать заболевания;
- метод лучевого исследования, как внутренних органов, так и скелета человека;
- применяют как самостоятельное обследование, а также и как один из основных действующих элементов в некоторых приборах и методах диагностики;
- является основным в компьютерной томографии, флюорографии и многих других диагностических методов;
- оказывает определенное, потенциально опасное влияние на организм человека.

Формы рентгенов:

1. **Рентгенография** - рентгенологическое исследование, благодаря которому врач-специалист получает изображения плотных структур человеческого организма на фотографической пленке;

2. **Рентгеноскопия** – изображения плотных структур организма человека наблюдается на экране.

Рентгеновские лучи:

- рентгеновские лучи возникают при резком торможении электронов, прошедших ускоряющее напряжение в несколько киловольт, эти лучи вид электромагнитных излучений, таких же, как радиоволна или свет;
- обладают большой проникающей способностью, то есть они способны беспрепятственно проникать сквозь изучаемые органы и ткани;
- способны проникать в разные вещества, но с разной степенью;
- являются электромагнитным излучением с длиной волны  $8 \div 9$  см и частотой от  $3,7 \cdot 10^{15} \div 3 \cdot 10^{20}$  Гц - широко используется в медицине;
- «очень сильным светом», которому «не страшны» ни металлические пластины, ни плотные предметы.

#### **Польза и вред рентгеновского излучения**

Статистика утверждает, что примерно 70% всех диагнозов можно поставить или подтвердить с помощью рентгена. Это исследование позволяет не только правильно определить недуг, но и вычислить площадь пораженных участков, серьезность патологии и стадию болезни. Без его использования достаточно трудно определить, нуждается ли больной в оперативном вмешательстве. При помощи лучей рентгена проводят операции на сосудах, так как по-другому просто не удастся рассмотреть место сужения артерии или вены и вычислить, как их можно расширить [6]. Таким образом, осуществляется стенирование и шунтирование сосудов в сердце. В современной медицине рентген часто заменяют ультразвуковым исследованием (УЗИ), с его помощью проводят различные виды диагностики, к примеру, изучение желчевыводящих путей.

Рентгеновские лучи проникают слишком глубоко во все участки человеческого тела и это негативно влияет на человеческие клетки и органы. Облучение рентгеном, можно назвать той же радиацией, а под воздействием радиоактивного излучения происходит ионизация молекул и атомов организма человека и приводит к гибели клеток человека. При рентгеновском воздействии лучей, человек получает определенную дозу облучения, которая равна десятикратному облучению, от обычного фонового облучения, в котором человек постоянно находится. Воздействие рентгеновских лучей на организм человека наносит определенный вред его здоровью, и ученые стараются снизить до возможного минимума негативное влияние лучей на организм человека. В настоящее время при диагностике, используются рентгеновские лучи с довольно низкой энергией, к тому же диагноз проводится в самые короткие промежутки времени, что также снижает уровень вреда от воздействия лучей на организм человека. Самым частым побочным эффектом считается повышение риска возникновения злокачественных опухолей, которые могут дать о себе знать только лишь через десятки лет [7, 8].

Степень опасности рентгеновского облучения для людей зависит от контингента лиц, подвергающихся облучению:

профессионалы, работающие с рентгеновской аппаратурой. К ним относятся: врачи-рентгенологи, стоматологи, а также научно-технических работников и персонал, обслуживающий и использующий рентгеновскую аппаратуру;

пациенты.

#### Методы контроля.

1. Наличие адекватного оборудования.

2. Контроль за соблюдением правил техники безопасности.

3. Правильное использование оборудования.

При рентгеновском обследовании воздействию облучения должен подвергаться только нужный участок.

#### **Заключение**

Умеренное рентгенологическое облучение не может нанести ощутимого вреда организму человека. Рентгеновское исследование, хоть и обладает потенциально опасными эффектами в отношении организма, но на практике практически безопасно. Здоровье каждого человека находится непосредственно в его руках. Берегите свое здоровье, соблюдайте здоровый образ жизни и тогда, быть может, Вам никогда не понадобится рентген.

Литература.

1. Игишева А. Л., Литвиненко В. В. Влияние эффективной дозы облучения при рентгенологических обследованиях на организм человека [Электронный ресурс] // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т, Томск, 26-30 Мая 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 2 - С. 132-134. - Режим доступа: [http://portal.tpu.ru/files/departments/publish/INK\\_KONFERENTCIIa\\_NERAZRUSH\\_KONTROL%60\\_TOM\\_2.pdf](http://portal.tpu.ru/files/departments/publish/INK_KONFERENTCIIa_NERAZRUSH_KONTROL%60_TOM_2.pdf).
2. Игишева А. Л., Литвиненко В. В., Соболева Э. Г. Исследование эффективной дозы облучения при рентгенологических обследованиях // Современное состояние и проблемы естественных наук : сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 17-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 83-85.
3. Игишева А. Л., Литвиненко В. В. Эффективная доза облучения при рентгенологических обследованиях // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 3-5 Апреля 2014. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014 - С. 507-509.
4. Википедия статьи «Рентгеновское излучение» и «Ионизирующее излучение» \ Электронный ресурс: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ионизирующее\\_излучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ионизирующее_излучение).
5. СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» \ Электронный ресурс: <http://gost.oktyab.ru/Data1/56/56325/index.htm>.
6. Постановление от 18 февраля 2003 г. N 8 о введение в действие САНПИН 2.6.1.1192-03 \ Электронный ресурс: <http://www.zhuravlev.info/files/postan8.doc>
7. Рентгенологическое обследование: типы обследований, дозы облучения, безопасность и риски рентгенологического обследования. \ Электронный ресурс: <http://www.polismed.ru/lab-roentg-post001.html>.
8. Энциклопедия Кольера. РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. \ Электронный ресурс: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_colier/5698](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_colier/5698).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*А.Р. Губанова, студ. группы 17Г41, Е.П. Теслева, к.ф.-м.н., доц.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Энергия солнца – весьма перспективный, практически неисчерпаемый и экологически чистый источник энергии. Во многих странах солнечная энергетика получила активную государственную поддержку и стремительно развивается. По оценкам специалистов к 2100 году солнце станет доминирующим источником энергии на планете [1].

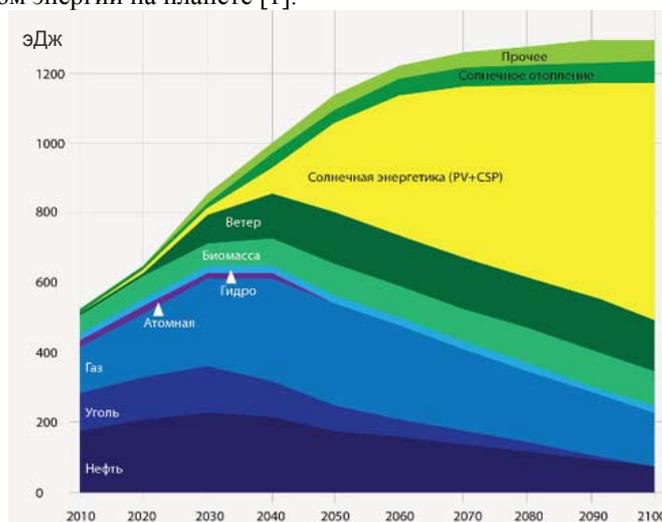


Рис. 1. Прогноз энергетического баланса в мире до 2100 года (1 Эдж = 278 млрд кВт·ч)

Мировым лидером в производстве солнечной электроэнергии является Германия, не отличающаяся благоприятным и солнечным климатом, совокупный объем мощностей солнечных электростанций которой составляет по данным статистики на 2012 год 32 ГВт [2]. В России с её климатом до последнего времени использование альтернативных источников не рассматривалось. Для обширных регионов Сибири не редки перебои в электроснабжении из-за несовершенства передающих линий, значительных расстояний, плохих погодных условий. При этом передача энергии происходит с огромными потерями. Эти факторы повлияли на развитие отрасли использующей энергию солнца. Так в 4 сентября 2014 года в Республике Алтай пущена в эксплуатацию Кош-Агачская солнечная электростанция мощностью 5 МВт, а в 2015 г. в Хакасии будет введена в строй Абаканская солнечная ЭС на 5,198 МВт [3].

Солнечная батарея – это несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) – полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток. Солнечная батарея состоит из отдельных солнечных элементов. Сборка фотоэлементов покрывается защитными слоями из пластика, стекла, полимерных пленок. Кремний является основным материалом для производства фотоэлементов. Это второй по распространенности элемент на Земле, запасы его огромны. Однако процесс производства чистого кремния очень трудоемкий и затратный, поэтому чистый кремний стоит дорого. Сейчас ведется поиск аналогов, которые бы не уступали кремнию по КПД.

Принцип работы фотоэлектрических преобразователей основан на фотоэлектрическом эффекте. Фотоэлемент на основе полупроводников состоит из двух слоев с разной проводимостью. К слоям с разных сторон подпаиваются контакты, которые используются для подключения к внешней цепи. Роль катода играет слой с n-проводимостью (электронная проводимость), роль анода – p-слой (дырочная проводимость). Когда лучи света попадают на n-слой, за счет фотоэффекта образуются свободные электроны. Кроме этого, они получают дополнительную энергию и способны «перепрыгнуть» через потенциальный барьер p-n-перехода. Концентрация электронов и дырок изменяется и образуется разность потенциалов. Если замкнуть внешнюю цепь через нее начнет течь ток.

Солнечные батареи могут быть следующих основных видов:

*Монокристаллические батареи.* КПД таких батарей выше, чем у других видов, но при этом они стоят несколько дороже. Их чаще всего можно увидеть на крышах загородных домов, промышленных предприятий, это наиболее популярный вид солнечных батарей. Коэффициент полезного действия таких батарей примерно 20-25%.

*Поликристаллические батареи.* Их светопоглощение несколько ниже, чем у монокристаллических, поскольку неравномерная поверхность отражает часть лучей. Применяются также как и монокристаллические, КПД у них несколько ниже и не превышает 20%, но и стоимость их, обычно, ниже чем у монокристаллических солнечных батарей.

*Тонкопленочные батареи.* Принцип работы таких солнечных батарей аналогичен кристаллическим. Но выпускаются они в виде гибких ячеек, которые можно устанавливать на криволинейных поверхностях. Эти батареи дешевы в производстве, и довольно эффективны, но для бытовых целей применяются редко, поскольку по сравнению с кристаллическими занимают большую площадь (примерно в 2,5 раза) на единицу мощности, а КПД – около 10% [4].

Лидерами в производстве кремния для солнечных батарей считаются: Китай, Норвегия, Испания, Германия, Бразилия, США. В России существует шесть крупных предприятий, занимающихся производством солнечных батарей [5].

Стоимость солнечных батарей сегодня достаточно высока. А с учетом небольшого значения КПД панелей, вопрос их окупаемости очень актуален. Срок службы солнечных панелей составляет порядка 25 и более лет. На срок окупаемости влияют: тип выбранного оборудования, географическое положение, стоимость оборудования, стоимость энергоресурсов в регионе.

Для обеспечения потребностей загородного дома необходимо приобрести следующий комплект оборудования: солнечной батареи (генератора постоянного тока), аккумулятора с устройством контроля заряда и инвертора, который преобразует постоянный ток в переменный (рис. 1).

Для обеспечения энергией дачного домика производители предлагают использовать солнечные батареи суммарной мощностью 300 Вт. Стоимость такой солнечной электростанции варьируется от 86000 до 177000 рублей. Ее можно использовать в качестве основного источника электропитания в условиях отсутствия централизованной сети. В качестве системы резервного электроснабжения на

случаи отключения света длительностью один-два дня достаточно солнечных батарей суммарной мощностью 200 Вт. Стоимость такой комплектации находится в пределах от 56000 до 85000.

Средняя продолжительность солнечного сияния в Кемеровской области составляет 1700-2000 часов в год. Однако, по данным климатологов, за 30 последних лет количество солнечных дней в Сибири сократилось почти в 2 раза (в Кемеровской Новосибирской и Томской и областях с 130 дней до 70). Уменьшение количества солнечных дней в году объясняется глобальным потеплением [6, 7].

Средние цифры срока окупаемости солнечных батарей для стран Южной Европы составляют 1,5-2 года, для стран Средней Европы – 2,5-3,5 года, в России срок окупаемости равен примерно 2-5 годам. Высокая стоимость и небольшое количество солнечных дней увеличивает срок окупаемости солнечных станций в Кузбассе. Тем не менее, известен пример успешного использовании солнечной энергии в Германии, Швеции, Норвегии и Финляндии. Кроме того, за последние годы цены на фотоэлектрические панели упали в десятки раз и они продолжают снижаться. В ближайшем будущем эффективность солнечных батарей значительно увеличится. Это связано с разработкой более совершенных технологий, позволяющих увеличивать КПД и снижать себестоимость панелей, а как следствие уменьшится и срок, в течение которого система энергообеспечения на солнечной энергии окупит себя. Длительный период службы является одним из главных критериев при принятии решения «приобретать или нет солнечные батареи». После того как батареи окупают сами себя, получаемая электрическая энергия, будет абсолютно бесплатной. Все это говорит о больших перспективах использования солнечных батарей в нашем регионе.

Литература.

1. Солнечная энергетика: перспективы в мире и состояние в России // Energy fresh [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.energy-fresh.ru/analytics/?id=4883>.
2. Мировая солнечная энергетика: переломный год // Информационное агентство INFO Line [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://www.advis.ru/php/print\\_news.php?id=A4874E3E-5CE0-244E-A6BB-9CF6F8530077](http://www.advis.ru/php/print_news.php?id=A4874E3E-5CE0-244E-A6BB-9CF6F8530077).
3. Солнечная перспектива // Коммерсант.ru [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.kommersant.ru/doc/2634026>.
4. Китайские солнечные батареи. Реально ли у нас? // Строительный путеводитель [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://ysob.ru/articles/s/vse\\_stati/kommyunikacei/kitajskie\\_solnechnye\\_batarei.html](http://ysob.ru/articles/s/vse_stati/kommyunikacei/kitajskie_solnechnye_batarei.html).
5. Производители солнечных элементов // Energystock [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://ru.solnechnye-batarei/proizvoditeli-solnechnyx-batarei>солнечные батареи для дома.
6. Экодом в Сибири // Энциклопедия знаний [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://pandia.org/text/77/363/84638.php>.
7. Количество солнечных дней в Томске уменьшилось вдвое // НГС путеводитель [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://ngs70.ru/news/1299828/view/>

## **ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА ПИЩИ ИЗ СВЧ ПЕЧИ**

*А. Курманбай, студент группы 17В41,*

*научный руководитель: Полицинский Е.В., к. пед. н., доцент,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Мы живем в век высоких технологий. Технический прогресс достиг невероятных вершин, но как показывает статистика люди так и не стали меньше болеть. Кроме того, с развитием техники, а после и электротехники, возросло и число болезней, о которых ранее никто не мог даже предполагать.

Живя в XXI веке я, как и каждый житель нашей планеты, непосредственно оказалась свидетелем множества открытий и изобретений, повлиявших на жизнь людей. Еще 10 лет назад никто и не думал, что на смену огромным телевизорам и мониторам компьютеров придут жидкокристаллические и плазменные модели, что телефон будет размером практически со спичечный коробок, а на кухне можно будет делать многое все с помощью техники. И, как правильно заметил автор высказывания, которое я взяла в качестве эпиграфа, цивилизация имеет не только положительные, но и негативные стороны [1, 2].

Ежедневно я чтобы разогреть себе пищу пользуюсь микроволновой печью, т. к такая печь уже давно стала привычным предметом на нашей кухне. Однако в последнее время появляется все больше информации, что пища, приготовленная в микроволновой печи, способна нанести непоправимый вред здоровью человека. Я попыталась разобраться, на самом ли деле существует опасность употребления продуктов из микроволновки?

Вначале я выяснила, как работает микроволновая печь. Оказывается важнейшая часть любой микроволновки – магнетрон. Благодаря ему, электрическая энергия из вашей сети преобразуется в высокочастотное электрическое поле частотой 2450 Мегагерц (МГц). Микроволны этого поля взаимодействуют с молекулами воды в подогреваемой пище, а возникающее при этом трение влечет за собой повышение температуры, что, в свою очередь, и способствует приготовлению пищи. Созданные магнетроном микроволны, являют собой очень короткие электромагнитные волны, которые перемещаются в пространстве со скоростью света (299 792 км в секунду). Как только микроволны попадают в камеру печи, начинается их отражение от металлических стенок. Таким образом, микроволны могут со всех сторон оказывать воздействие на приготавливаемый продукт. Микроволны имеют большое значение для современного человека, они используются для телефонной связи, передачи телевизионных программ, работы Интернета на Земле и через спутники. В нашем случае микроволны используются для быстрого приготовления пищи [3].

В сетевых литературных источниках я нашла информацию о том, что слухи об облучении, которому якобы подвергаются владельцы микроволновых печек, опровергают многие видные ученые. Они утверждают, что оснований для страхов нет. Микроволны появляются только после полного закрытия дверцы и включения печи. В исправной печке, микроволны действуют только на пищу во время приготовления. Нас от волн защищает стекло, покрытое специальной защитной сеточкой, и герметичный корпус. При проникновении в пищу, энергия печи полностью превращается в тепло, при этом не остается никакой «оставшейся» энергии, которая может навредить вам при употреблении пищи приготовленной в печи. Практически все современные микроволновки перестают работать, когда открывается дверца печи. Нельзя включать пустую микроволновку, так как магнетрону не будет с чем взаимодействовать, и он может выйти из строя.

Её коробка сконструирована таким образом, чтобы излучаемые волны не проникали наружу. Но существует версия, что щель вокруг дверцы, может пропускать микроволны. Поэтому рекомендуется отходить в сторону после того как вы включили печку. Далее я попыталась проверить экспериментально: пропускает ли наша печь микроволны наружу. Положила мобильный телефон в печь (не включая её), закрыла дверцу и позвонила на него. Сигнал не доходит, «абонент находится вне зоны покрытия сети», значит стенки нашей СВЧ-печи надежно «держат» микроволны внутри. Можете провести такой тест со своей микроволновкой. Если звонки «доходят» до вашего телефона, то этой печкой лучше не пользоваться, она ненадежно сдерживает волны, и при готовке они могут «падать наружу». Теперь поговорим о посуде, в которой подогревают пищу. Дело в том, что микроволны могут отражаться некоторыми видами посуды. Лучше всего использовать прозрачную стеклянную посуду, она лучше всего пропускает микроволны. Однако не помещайте в микроволновку стаканы и посуду из хрусталя. Почти все его виды фарфора пригодны для приготовления пищи в микроволновой печи, но нельзя пользоваться посудой с позолоченным или посеребренным рисунком. Посуда из пластмассы может легко деформироваться, если она нетермостойкая. Поэтому при использовании пластмасс следите, чтобы на ней стояла надпись «термоустойчивость до 140 градусов».

Микроволны будут отражаться от алюминиевой фольги и не смогут проникать внутрь. Но эти свойства можно обратить в пользу, если накрыть алюминиевой фольгой те места продуктов, которые могут легко подгореть (например, крылышки или ножки птицы, голову или хвост рыбы) во время процесса размораживания.

Металлическая посуда совершенно не пригодна для приготовления продуктов в печи. Это касается кастрюль, сковород из стали, чугуна, эмалированных, посуды из алюминия и меди. Есть простой тест определения пригодности посуды для использования в СВЧ-печи. Если вы разогреваете пищу в посудине и нагревается только пища, а посуда нет, то такую посудину использовать можно. Микроволны не нагревают такую посуду, но, со временем, эта посуда нагревается от тепла, что скапливается в подогреваемой пище.

Ну а теперь приступим к выяснению главного вопроса: оказывает ли еда из микроволновки вред здоровью?

Микроволновые печи по спорам вокруг влияния на организм бьют все рекорды. Как только на нашем рынке появились микроволновки, вместе с ними немедленно возникла страшилка: «Еда из микроволновки вызывает рак». Еще ходили «пугалки», что еда из микроволновки просто-таки переполнена канцерогенами... Принцип работы СВЧ - печи заключается в следующем: магнетрон преобразует электрическую энергию в высокочастотное электрическое поле, заставляющее двигаться молекулы воды, что приводит к разогреванию продукта. Магнетрон, создавая электрическое поле, направляет его по волноводу в рабочую камеру, в которой размещен продукт, содержащий воду (вода является диполем, так как молекула воды состоит из положительных и отрицательных зарядов). Воздействие внешнего электрического поля на продукт приводит к тому, что диполи начинают поляризоваться, т.е. диполи начинают поворачиваться. При повороте диполей возникают силы трения, которые превращаются в тепло. Поскольку поляризация диполей происходит по всему объему продукта, что вызывает его нагрев.

Попробуем выяснить: не вредна ли поляризация диполей для организма человека?

В 1989 году швейцарский биолог Хертель вместе с профессором Бернардом Бланком попытались исследовать влияние еды из микроволновки на человека. Поскольку денег на полномасштабное исследование им не дали, то ученые ограничились одним подопытным, который по очереди ел пищу, приготовленную на плите, а потом - в микроволновке. Ученые уверяли, что после микроволновой еды в крови подопытного происходили изменения, напоминавшие начало патологического процесса, то есть рака. Другими словами, увеличивалось количество лейкоцитов. Следовательно, регулярное поедание пищи из микроволновки могло привести к раку крови, уверяли ученые, но к их словам не прислушались.

Мнения ученых: «за» и «против»: американские ученые заявляют, что благодаря микроволновкам в Америке снизилось заболевание раком желудка. А все потому, что в пищу, приготовленную в микроволновке, не добавляется масло. А способ приготовления напоминает самый щадящий – паровой, еще СВЧ в два раза лучше сохраняют витамины и минералы в пище из-за небольшого времени приготовления. В Институте питания РАН подсчитали, что при приготовлении еды на плите разрушается до 60 процентов витамина С. А под воздействием микроволн - всего от 2 до 25 процентов. А в этом году Всемирная организация здравоохранения выдала вердикт: в СВЧ используется излучение, не оказывающее вредного влияния ни на человека, ни на еду [4]. Единственное «но»: вживленные сердечные стимуляторы могут быть чувствительны к интенсивности потока микроволн. Поэтому ВОЗ рекомендует тем, у кого есть кардиостимуляторы, отказаться от сотовых телефонов и микроволновок.

В интернете я нашла ответы на наиболее интересные предубеждения по поводу опасности микроволн. Микроволны радиоактивны или делают продукты радиоактивными. Это неверно: микроволны относятся к категории неионизирующих излучений. Они не оказывают никакого радиоактивного воздействия на вещества, биологические ткани и продукты питания. Микроволны изменяют молекулярную структуру продуктов питания или делают продукты канцерогенными. Это тоже неверно. Принцип действия микроволн иной, чем у рентгеновских лучей или у ионизирующих излучений, и сделать продукты канцерогенными они не могут. Напротив, поскольку приготовление пищи при помощи микроволн требует очень небольшого количества жиров, готовое блюдо содержит меньше перегоревшего жира с измененной при тепловой обработке молекулярной структурой.

Поэтому приготовление пищи с помощью микроволн полезнее для здоровья и не представляет для человека никакой опасности. Микроволновые печи испускают опасное излучение. Это не соответствует действительности. Хотя непосредственное воздействие микроволн может вызвать тепловое поражение тканей, риск при пользовании исправной микроволновой печью полностью отсутствует. Конструкцией печи предусмотрены жесткие меры для предотвращения выхода излучения наружу: имеются продублированные устройства блокировки источника микроволн при открывании дверцы печи, а сама дверца исключает выход микроволн за пределы полости. Ни корпус, ни любая иная часть печи, ни помещенные в печь продукты питания не накапливают электромагнитное излучение микроволнового диапазона. Как только печь выключается, излучение микроволн прекращается. Тем, кто опасается даже близко подходить к микроволновой печи, нужно знать, что микроволны очень быстро затухают в атмосфере. Как следствие столь сильного затухания, вклад микроволн в общий фон окружающего нас электромагнитного излучения не выше, чем, скажем, от телевизора, перед которым мы готовы сидеть часами без всякого опасения, или мобильного телефона, который мы так часто держим у виска. Просто не стоит опираться локтем на работающую микроволновую печь или прислоняться лицом к дверце, пытаясь разглядеть, что происходит в полости. Достаточно отойти от печи на расстояние вытянутой руки, и можно чувствовать себя в полной безопасности.

Окончательный вердикт микроволновой печи так и не вынесен. Многие ученые продолжают изучать ее влияние на организм человека. А пока окончательно не доказан вред от микроволновки, старайтесь по возможности готовить пищу на плите, а в микроволновке только разогревать или размораживать пищу. Старайтесь не находиться вблизи включенной печки и не допускать детей ближе 2-х метров от включенной микроволновки. Не используйте неисправную печь. Особенно важно, чтобы дверцы надежно закрывались и не были повреждены. Перед эксплуатацией, внимательно изучите инструкцию к печке, чтобы правильно ею пользоваться. Не пытайтесь отремонтировать печку самостоятельно, пользуйтесь услугами квалифицированных специалистов. И последнее, что хочется сказать, наше здоровье зависит только от нас самих, а выбор остается за нами. Здоровья всем и приятного аппетита!

Литература.

1. Емельянов М.А., Суханов М.А. Электромагнитные излучения и их воздействия на организм человека // Сборник научных трудов I Региональной научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» / под ред. В.А. Клименова, А.В. Юрченко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – С. 118 – 120.
2. Емельянов М.А., Суханов М.А. Электромагнитные излучения как фактор воздействия // Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и учащейся молодежи «Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении» / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – С. 406-407.
3. Википедия – свободная энциклопедия // Электронный ресурс <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%9A%D0%90%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%9F%D0%95%D0%9C>.
4. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 10 июня 2010 г. N 64 "Об утверждении СанПиН 2.1.2.2645-10" (с изменениями и дополнениями).

### ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА МЕТОДОМ МОНОТОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

*А.Л. Игешева, студент группы 10730, Э.Г. Соболева, к.ф.-м.н., доцент,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62  
E-mail: igisheva\_alena@mail.ru*

Теплоемкостью тела называется физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить телу, чтобы увеличить его температуру на 1 К [1]:

$$C = \frac{\partial Q}{dT} \quad (1)$$

Теплоемкость единицы массы вещества называется удельной теплоемкостью:

$$c = \frac{1}{m} \frac{\partial Q}{dT}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса вещества. Теплоемкость одного моля вещества называется молярной теплоемкостью и обозначается как:

$$C_M = \frac{M}{m} \frac{\partial Q}{dT} = \frac{1}{\nu} \frac{\partial Q}{dT}, \quad (3)$$

где  $\nu$  – число молей вещества,  $M$  – молярная масса вещества.

Теплоемкость зависит не только от вещества, но и от условий при которых телу сообщается теплота и изменяется его температура.

Из первого закона термодинамики следует, что подводимое к системе тепло  $\delta Q$  расходуется на увеличение внутренней энергии  $dU$  и на совершение работы против внешних сил  $\delta A$ :

$$\delta Q = dU + \delta A. \quad (4)$$

Если в результате процесса работа не совершается, т.е.  $V = \text{const}$ , то теплоемкость определяется внутренней энергией и согласно выражению (1) определяется как:

$$C_v = \left( \frac{\partial Q}{\partial T} \right)_v = \frac{dU}{dT}. \quad (5)$$

При постоянном давлении теплоемкость можно записать в виде:

$$C_p = \left( \frac{\partial Q}{\partial T} \right)_p = \frac{dU}{dT} + P \left( \frac{dV}{dT} \right)_v = C_v + P \left( \frac{dV}{dT} \right)_v. \quad (6)$$

Так как для твердых тел коэффициент объемного расширения мал, то и работа их расширения при постоянном давлении  $\delta A = p dV$  мала ( $\delta A \rightarrow 0$ ). Таким образом, для твердых тел теплоемкость при постоянном давлении немного отличается от теплоемкости при постоянном объеме, так что можно предположить, что  $C_p \approx C_v$ , а теплоемкость твердого тела обозначить:

$$C = \frac{dU}{dT}. \quad (7)$$

Кристаллическое твердое тело представляет собой кристаллическую решетку. В ее узлах находятся атомы (или молекулы). Атомы совершают колебания относительно положений равновесия, которыми являются узлы кристаллической решетки. Подведенная к телу теплота расходуется на увеличение энергий колебаний атомов. Эта теплота складывается из потенциальной и кинетической энергии. Если пренебречь взаимодействием осцилляторов друг с другом, то колебания, совершаемые атомами, будут гармоническими. Для гармонических колебаний средняя кинетическая энергия колебаний равна средней потенциальной.

Из кинетической теории газов известно, что средняя кинетическая энергия атома на одну степень свободы равна  $\frac{kT}{2}$ , где  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура. Поэтому средняя энергия колебания вдоль одного направления будет равна  $kT$ . Но атом обладает тремя степенями свободы. Следовательно, полная энергия колебательного движения одного атома  $3kT$ .

Если тело содержит  $N$  атомов, то его внутренняя энергия равна  $U = 3NkT$ . Внутренняя энергия одного моля вещества:

$$U = N_A \cdot 3kT = 3RT, \quad (8)$$

где  $N_A$  – число Авогадро;  $R = kN_A$  – универсальная газовая постоянная.

Дифференцируя энергию  $U$  по абсолютной температуре, получим выражение для молярной теплоемкости твердого тела:

$$C = \frac{dU}{dT} = 3R \approx 25 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}. \quad (9)$$

Этот результат был получен при комнатной температуре опытным путем в 1819 г. Французскими физиками П. Дюлонгом и А. Пти. Они сформулировали следующее правило: молярная теплоемкость всех химически простых кристаллических твердых тел приблизительно равна  $25 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ .

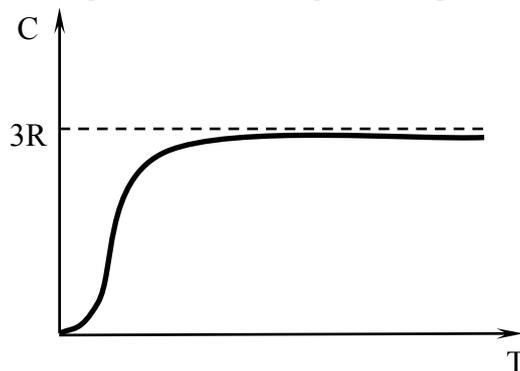


Рис. 1. Температурная зависимость молярной теплоемкости [1]

Равенство (9) выполняется с хорошим приближением для многих твердых тел при комнатной температуре. Со снижением температуры теплоемкости всех твердых тел уменьшаются и приближаются к нулю при  $T \rightarrow 0$  (рис. 1). Вблизи абсолютного нуля молярная теплоемкость всех тел пропорциональна  $T^3$ , и только при температурах выше определенного значения (Дебаевской температурой)

( $T > T_D$ ), характерной для каждого вещества, начинает выполняться равенство (9). Для большинства тел это достигается уже при комнатной температуре. Эти особенности теплоемкостей твердых тел при низких температурах объясняются с помощью квантовой теории теплоемкости, созданной Эйнштейном и Дебаем. Температуры  $T_D$ , выше которых хорошо выполняется закон Дюлонга и Пти, приведены в таблице 1 для некоторых кристаллических веществ.

Таблица 1

Дебаевская температура, масса моля, удельная теплоемкость для некоторых веществ

Вещество	$T_D$ , К	Масса моля, г	Удельная теплоемкость, Дж/кг·К
Железо	453	57	444
Медь	315	64	385
Свинец	88	207	130
Алюминий	394	27	903
Серебро	215	108	235

В данной работе определяется теплоемкость твердых тел заданной геометрической формы методом монотонного охлаждения с помощью измерителя теплоемкости БИТ-400. Компьютерный измеритель теплоемкости БИТ-400 является малогабаритным измерительным модулем, подключаемым к ПК через USB-интерфейс. Прибор предназначен для измерения теплоемкости в интервале температур от 20 до 400<sup>0</sup> С. Технические характеристики и условия эксплуатации представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики и условия эксплуатации

Размер образцов	диаметр	5 мм
	толщина	10 мм
Диапазон измерения теплоемкости		700-4200 кДж/кг·К
Рабочий диапазон температур		20 ... 400 <sup>0</sup> С
Пределы допускаемой основной погрешности		5 %
Время измерения		не более 60 мин
Напряжение питания		220 ± 22 В
Масса прибора		не более 3 кг

В качестве опытного образца был использован монокристалл NaCl, выращенный из водного раствора этих солей по методу пересыщения спонтанной кристаллизацией. Далее способом мокрой нити данный образец был получен в виде стержня с примерными размерами 10×5×5 мм<sup>3</sup>. В таблице 3 приведены некоторые физические свойства хлорида натрия.

Таблица 3

Некоторые физические свойства NaCl (300 К) [2]

Свойство	Значения
1. Плотность $\rho$ , 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	2,165
2. Параметр решетки $r_0$ , Å	2,794
3. Период решетки $a$ , Å	5,627
4. Температура плавления $T_{пл}$ , К	1074
5. Температурный коэффициент объемного расширения $\beta$ , 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	110
6. Температура Дебая $\theta$ , К	299,2
7. Энергия решетки $U$ , кДж/моль	765
8. Энтропия вещества в стандартном состоянии $S$ , Дж/моль·К	72,36
9. Молярная теплоемкость при постоянном давлении $C_p$ , Дж/моль·К	49,71
10. Энтальпия образования $\Delta H$ , кДж/моль·К	-410,9
11. Энергия Гиббса образования $\Delta G$ , кДж/моль	-384,0
12. Соотношение Коши $\Delta=c_{12}/c_{44}$	1,03

Галогениды щелочных металлов служат идеальным объектом для построения и проверки различных моделей кристаллических решеток, теорий дислокационной неупругости [3], являются модельными объектами в радиационном материаловедении и геофизике. Галогениды щелочных металлов образуют твердые растворы, у которых можно целенаправленно изменять химический состав, не меняя структурный тип решетки. Многие экспериментальные и теоретические методики, отработанные на этих кристаллах, с успехом применялись при изучении физических свойства более сложных по структуре материалов. Этим и определяется неослабевающий интерес к изучению физических и термодинамических свойств монокристаллов галогенидов щелочных металлов.

Таким образом, **цель нашего исследования:** измерение удельной теплоемкости хлорида натрия методом монотонного охлаждения с помощью измерителя теплоемкости БИТ-400.

**Задачи исследования:** 1) изучить устройство прибора БИТ-400; 2) измерить теплоемкость кристалла NaCl в интервале 293-673 К; 3) сравнить молярную теплоемкость с классическим пределом Дюлонга-Пти.

В ходе эксперимента, длительность которого около часа, с шагом 10 К и с погрешностью прибора БИТ-400 5 % была измерена теплоемкость в температурном интервале 293-673 К [4]. Таблица 4 демонстрирует измеренные значения удельной теплоемкости, а также молярной теплоемкости, рассчитанной по формуле (3).

Таблица 4

Удельная и молярная теплоемкости NaCl [5]

T, К	c, Дж/(кг·К)	C <sub>м</sub> , Дж/(моль·К)
293	874,48	50,72
313	880,17	51,05
333	885,69	51,37
353	891,38	51,70
373	897,07	52,03
393	902,59	52,35
413	908,28	52,68
433	913,97	53,01
453	919,48	53,33
473	925,17	53,66
493	930,86	53,99
513	936,38	54,31
533	942,07	54,64
553	947,59	54,96
573	953,28	55,29
593	958,97	55,62
613	964,48	55,94
633	970,17	56,27
653	975,86	56,60
673	981,38	56,92

Стоит отметить, что молярная теплоемкость в исследуемом интервале температур превышает классический предел Дюлонга-Пти  $3Rn$ , где  $n$  – число атомов в формульной единице NaCl ( $n = 2$ ).

Таким образом, прибор БИТ-400 позволяет измерять теплоемкость твердых тел заданной геометрической формы в интервале 293-673 К, благодаря которой можно определить термодинамические параметры: изменение энтальпии, энтропии и энергию Гиббса.

Литература.

1. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Таисия Ивановна Трофимова. – 12-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.
2. Беломестных В. Н. , Соболева Э. Г. Коэффициенты Пуассона щелочно-галогидных кристаллов. Ч.II. Галогениды натрия // Известия Томского политехнического университета. - 2013 - Т. 323 - №. 2. - С. 140-142.

3. Беломестных В.Н., Похолков Ю.П., Ульянов В.Л., Хасанов О.Л. Упругие и акустические свойства ионных, керамических диэлектриков и высокотемпературных сверхпроводников. – Томск: STT, 2001. – 226 с.
4. Игишева А.Л., Литвиненко В.В. Теплоемкость хлорида натрия // Физические методы в естественных науках: материалы 53-й Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 11-17 Апреля 2015. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2015 - С. 14.
5. Игишева А.Л. Теплоемкость кристалла NaCl в области температура 293-673 К // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 9-11 Апреля 2015. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015 - С. 563-565.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХЛОРАТА НАТРИЯ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 298-520 К

*В.В. Литвиненко, студент группы 10730, Э.Г. Соболева, к.ф.-м.н., доцент,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Кристаллы хлората натрия являются практически важными материалами, так как являются пьезоэлектриками, пироэлектриками, обладающими хиральностью, оптической и акустической активностью, генерацией второй гармоники. В последние годы интерес к этим объектам резко усилился в связи с поиском новых кристаллов для лазеров на основе комбинационного рассеяния и рамановских лазерных конверторов [1, 2]. Малоизученными являются его тепловые и термодинамические свойства, которые представляют, несомненно, как научный, так и практический интерес.

**Цель работы:** исследование термодинамических параметров  $\text{NaClO}_3$ : энтропии, энтальпии и приведенной энергии Гиббса в интервале 298-520 К методом численного интегрирования.

**Задачи исследования:** 1) провести анализ влияния температуры на молярную теплоемкость  $\text{NaClO}_3$  в интервале 298-520 К; 2) определить для выбранного объекта исследования методом численного интегрирования изменения энтропии, энтальпии и энергии Гиббса.

Молярная теплоёмкость хлората натрия при постоянном давлении  $C_p$  была измерена Беломестных В.Н., Соболевой Э.Г. [3] с помощью измерителя теплоемкости ИТ-С-400 (погрешность 10 %). Из рис. 1 видно, что высокотемпературная ветвь кривой  $C_p(T)$  при  $T > 400$  К демонстрирует несколько повышенную зависимость от температуры, чем следовало бы ожидать для вполне стабильной решётки неполярного диэлектрика за счёт взаимодействия только фононов. Данный факт, объясняется тем, что уже с указанной выше температуры инициируется и постепенно нарастает ориентационный беспорядок дипольных моментов за счет хаотической разориентации молекулярных группировок  $\text{ClO}_3$  в последовательных слоях решётки, который, в конце концов, привел бы к фазовому переходу 2-го рода сегнетоэлектрик-параэлектрик с точкой Кюри  $T_c=593$  К [1]. Однако ранее при  $T=530$  К решётка  $\text{NaClO}_3$  теряет динамическую устойчивость и наступает фазовый переход 1-го рода – кристалл плавится.

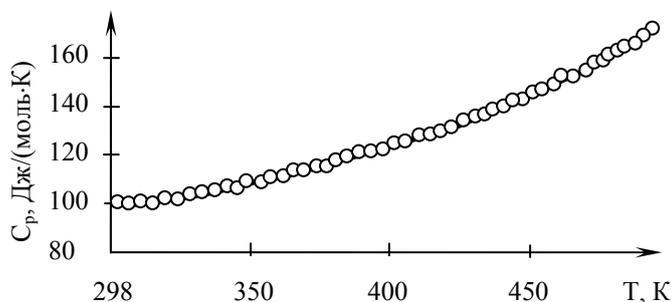


Рис. 1. Температурная зависимость теплоемкости кристалла  $\text{NaClO}_3$  [3]

Применение теплоемкости для термодинамических расчетов тепловых эффектов химических реакций, тепловых балансов химико-технологических процессов, энтропии, химического равновесия, исследования строения вещества, механизма взаимодействия веществ и т. д. не исчерпывает ее значения. В настоящее время известны точные методы определения теплоемкости в широком интервале

температур. Системный анализ накопленных современных знаний показывает, что теплоемкость сложных твердых соединений является функцией не только температуры, энтропии, давления, объема, но, прежде всего: 1) молекулярной массы; 2) типа, строения химической связи, ее основных характеристик, глубины химического взаимодействия между атомами, деформирующими данную химическую связь; 3) плотности соединения; 4) суммы порядковых номеров атомов молекулы; 5) типа кристаллической решетки соединения; 6) других свойств [4].

Значения молярной теплоемкости хлората натрия в исследуемом температурном интервале описывается следующим эмпирическим уравнением (в единицах Дж·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>) [4]:

$$C_p = 5,4272 + 645,54 \cdot 10^{-3} T - 174,37 \cdot 10^{-5} T^2 + 214,438 \cdot 10^{-8} T^3 \quad (1)$$

На основе полученных экспериментальных данных из сглаженной кривой  $C_p(T)$  методом численного интегрирования рассчитаны изменения энтропии  $S_T^0 - S_{298}^0$  и энтальпии  $H_T^0 - H_{298}^0$  [5]:

$$H_T - H_0 = \int C_p(T) dT, \quad (2)$$

$$S_T - S_0 = \int \frac{C_p(T)}{T} dT. \quad (3)$$

Для определения изменения энергии Гиббса при нагреве от температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$  воспользовались уравнением [5]:

$$G_{T_2}^0 - G_{T_1}^0 = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT - (T_2 - T_1) \cdot S_{T_1}^0 - T_2 \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T} dT, \quad (4)$$

где стандартная энтропия для  $\text{NaClO}_3$   $S_{298}^0 = 129,7$  Дж/(моль·К).

Таблица 1

Молярная теплоемкость, термодинамические функции и энергия Гиббса  $\text{NaClO}_3$  [6]

T, K	$C_p$ , Дж/(моль·К)	$S_T^0 - S_{298}^0$ , Дж/(моль·К)	$H_T^0 - H_{298}^0$ , кДж/(моль·К)	$G_T^0 - G_{298}^0$ , Дж/(моль·К)
298	99,69	-	-	-
300	100,04	0,67	0,20	-260
310	101,85	3,99	1,21	-1582
320	103,70	7,26	2,24	-2936
330	105,62	10,49	3,29	-4321
340	107,61	13,68	4,36	-5740
350	109,69	16,85	5,45	-7192
360	111,87	19,99	6,56	-8678
370	114,16	23,11	7,69	-10201
380	116,59	26,23	8,85	-11751
390	119,15	29,33	10,03	-13340
400	121,87	32,43	11,24	-14961
410	124,75	35,53	12,47	-16624
420	127,81	38,64	13,74	-18312
430	131,06	41,77	15,04	-20040
440	134,52	44,91	16,37	-21808
450	138,19	48,08	17,73	-23621
460	142,10	51,28	19,14	-25462
470	146,24	54,53	20,58	-27356
480	150,65	57,81	22,07	-29283
490	155,32	61,14	23,60	-31261
500	160,27	64,52	25,19	-33271
510	165,52	67,97	26,82	-35341
520	171,08	71,48	28,51	-37456



Таблица 1

Рейтинг параметров покупателей сотовых телефонов

	Оценка важности
Цена	3,57
Надежность	3,7
Технические характеристики	4,13
Функциональность	4,41
Производитель / Марка	4,57
Безопасность для здоровья/уровень ЭМИ	5,12
Дизайн	5,49
Стандарт связи	7,32
Отсутствие дополнительных ненужных функций	7,63
Дополнительные аксессуары	7,67

Из таблицы 1 видно, что о здоровье и безопасности при выборе телефона наши соотечественники пока думают далеко не в первую очередь. И, как читают медики, совершенно напрасно.

Многочисленные исследования и испытания, проведенные учеными разных стран, включая Россию, подтверждает, что организм человека «откликается» на наличие излучения сотового телефона. Биологический эффект ЭМП в условиях длительного многолетнего воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания. Электромагнитные поля могут быть особенно опасны для детей, беременных (эмбрион), людей с заболеваниями центральной нервной, гормональной, сердечно-сосудистой системы, аллергиков и людей с ослабленным иммунитетом.

Наиболее ранними клиническими проявлениями последствий воздействия ЭМ-излучения на человека являются функциональные нарушения со стороны нервной системы, проявляющиеся, прежде всего в виде вегетативных дисфункций неврастенического и астенического синдрома.

Лица, длительное время находившиеся в зоне ЭМ-излучения, предъявляют жалобы на слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна.

Нередко к этим симптомам присоединяются расстройства вегетативных функций. Нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы проявляются, как правило, нейроциркуляторной дистонией: лабильность пульса и артериального давления, склонность к гипотонии, боли в области сердца и др. Отмечаются также фазовые изменения состава периферической крови (лабильность показателей) с последующим развитием умеренной лейкопении, нейтропении, эритроцитопении.

Изменения костного мозга носят характер реактивного компенсаторного напряжения регенерации. Обычно эти изменения возникают у лиц по роду своей работы постоянно находившихся под действием ЭМ-излучения с достаточно большой интенсивностью. Работающие с МП и ЭМП, а также население, живущее в зоне действия ЭМП, жалуются на раздражительность, нетерпеливость.

Через 1-3 года у некоторых появляется чувство внутренней напряженности, суетливость. Нарушаются внимание и память. Возникают жалобы на малую эффективность сна и на утомляемость. Учитывая важную роль коры больших полушарий и гипоталамуса в осуществлении психических функций человека, можно ожидать, что длительное повторное воздействие предельно допустимых ЭМ-излучения может повести к психическим расстройствам

В целях снижения рисков, вызываемых электромагнитным излучением, пользователям мобильных устройств, следует соблюдать меры предосторожности, носить телефон как можно дальше от жизненно важных органов, так как при увеличении расстояния интенсивность излучения уменьшается; ограничить использование мобильного телефона при беременности и детьми».

В нашей стране, где надежда на «авось» - это черта национального характера, задумываться о рисках и просчитывать последствия обычно не принято и общественным мнением до недавнего времени воспринималось как занудство, так как прагматики были в явном меньшинстве.

Но времена меняются, растущая популярность здорового образа жизни в мире привела к тому, что и россияне перестали легкомысленно относиться к своему здоровью, полюбили натуральные продукты, внимательно читают этикетки на упаковках и следят за питанием, массово бросают курить, приобщаются к здоровым видам отдыха и к экостилю во всех бытовых проявлениях. Эта новая модная тенденция, в распространении которой «Лига здоровья нации» играет большую роль, добра-

лась и до мобильной связи. Даже сами операторы начали выступать с инициативами по «электромагнитной грамотности». Компания «Скайлинк», которая больше известна у нас своим мобильным интернетом, заговорила о том, что безопасная связь – важный фактор здорового образа жизни. Уловив настроение населения, она призывает всех поменять телефон на более безопасный, соблюдать умеренность и разумную осторожности при разговорах.

Дело в том, что компания использует стандарт CDMA, который в отличие от более массового GSM намного безопаснее для здоровья человека, потому что использует другую технологию и более низкую частоту.

Гульнара Хасьянова, генеральный директор компании «Скайлинк»: «В отличие от большинства других операторов мобильной связи, «Скайлинк» использует не самый распространенный в мире стандарт GSM, а другой стандарт – CDMA. В России он не очень хорошо известен, но для других великих держав мира – таких как США, Индия, Китай, Япония – является основным и таким же массовым, как у нас GSM, 310 операторов более чем в 100 странах мира его активно используют.

Интересно, что у стандарта CDMA российские корни. Он был разработан на основе фундаментальной работы советского академика Агиева «Основы теории линейной селекции», опубликованной в 1935 году. Дальнейшее развитие и свое название стандарт CDMA получил в США, а CDMA450 пришел в Россию с компанией «СкайЛинк в 2002 году, когда была открыта наша первая сеть в Санкт-Петербурге.

Это была первая сеть 3G в России, мы стали развивать мобильный интернет и приучили абонентов к USB-модемам, а сегодня пропускаем через свою сеть половину всего трафика 3G – столько же, как в сумме все операторы большой тройки вместе взятые, поскольку имеем лучшую сеть в Московском регионе и самое большое покрытие 3G по стране – 6 тысяч населенных пунктов. Но рынок мобильного интернета, хотя и развивается быстрыми темпами, пока еще очень маленький по объему. Поэтому для нас, как для всех операторов мобильной связи, голосовые услуги представляют большой интерес, и мы их общими усилиями активно развиваем.

Согласно статистике, в стране уже 203 миллиона пользователей. Операторы связи констатируют увеличение абонентов и рост трафика (минут разговоров и мегабайт передаваемой информации). Люди стали использовать даже не один телефон, а два или три, и стали задумываться о том, как это влияет на здоровье.

Важно понимать, что все оборудование связи проходит сертификацию и не соответствует действующим в РФ санитарным нормам. Но по техническим характеристикам стандарты GSM и CDMA существенно отличаются. Нашим преимуществом является то, что излучение, которое излучает устройство CDMA фактически на порядок ниже, чем у устройства, которое работает в стандарте GSM. Разница в технических параметрах обусловлена с одной стороны технологией, а с другой стороны частотным ресурсом, так как CDMA в России использует более низкую частоту (450 МГц). Это сказывается как на темпах строительства сетей, так и на площади покрытия, а также на абонентских терминалах, которые у нас не так разнообразны как в GSM, но более безопасны.

В условиях, когда мобильная связь приходит в каждый дом, мы считаем, что культура ее использования и информированность о ее влиянии на здоровье имеют важное социальное значение. Это не менее важная часть здорового образа жизни, чем правильное питание.

Мы хотим открыть новый тренд в России, и призываем всех, кто дорожит здоровьем, пользоваться безопасными телефонами. Связь должна быть безопасной. Так как благодаря стандарту CDMA и частоте 450 излучение наших телефонов меньше чем в GSM, другие операторы не смогут дать своим абонентам аналогичного преимущества.

Портрет аудитории, которой эта тема наиболее близка, понятна и интересна – люди, которые ведут здоровый образ жизни, как правило, это молодые семьи. Поэтому мы меняли визуализацию нашего бренда, чтобы соответствовать этой аудитории, и положили в основу концепции детские рисунки. Из серьезного официального стиля мы станем более дружелюбными, семейными, веселыми. Меняем упаковку и обновляем линейку оборудования, которое частично уже появилось в продаже»

Рекомендации по выбору и использованию мобильных телефонов

Все мобильные телефоны должны иметь санитарно-эпидемиологическое заключение на соответствие санитарным нормам, принятым в РФ (Санитарные нормы и правила «Гигиенические требования по размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи» СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03).

Все сведения о выдаче санитарно-эпидемиологического заключения заносятся в единый реестр Российской Федерации, который размещен на сайте Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

ФГУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве". Рекомендации по ограничению использования сотовых телефонов для отдельных категорий населения, апрель 2009 г.

Максимально сокращать время пользования мобильным телефоном.

Ограничить возможности использования мобильного телефона лицами, не достигшими 18 лет, женщинами в период беременности, людьми, имеющими имплантированные водители ритмов.

Для уменьшения возможного вредного воздействия электромагнитного излучения пользователям следует иметь в виду, что мобильные телефоны, работающие в стандарте IMT-TC-450 (CDMA450), излучают значительно меньше, в 10-20 раз, чем работающие в стандарте GSM.

Кроме того, уровни электромагнитного излучения резко падают с расстоянием. При удалении мобильного телефона от головы пользователя на расстояние, например, 30 см уровни электромагнитного излучения значительно уменьшаются. Таким образом, использование гарнитуры Hands Free является очень хорошей защитой от излучения.

При покупке сотового телефона обязательно проверьте: имеет ли он санитарно-эпидемиологическое заключение по параметрам безопасности.

Помните, что в противном случае вы рискуете собственным здоровьем. В паспорте каждой модели должна быть указана мощность. Разрешенная мощность в России - 100 мкВт/см<sup>2</sup>. Все, что излучает больше, - незаконно. В характеристиках может указываться и другой критерий - уровень SAR («удельный коэффициент поглощения»). В Европе допустимый уровень составляет 2 Вт/кг. Системы измерений в Европе и России отличаются. Наши нормы гораздо строже.

«Электромагнитные поля относятся к вредным видам излучения, поэтому они нормируются. Это известно уже на протяжении шестидесяти лет. В любой промышленности, где используются электромагнитные поля, сотрудники получают дополнительные льготы за вредность и находятся под наблюдением врачей-профпатологов.

Мы должны осознавать: мобильная связь работает с использованием электромагнитных полей, с вредным видом излучения, которое нормируется. Впервые за всю цивилизацию появился постоянный источник электромагнитных полей, который облучает головной мозг. При этом свой головной мозг мы сегодня облучаем добровольно и с большим удовольствием.

В результате проведенной научно-исследовательской работы был сделан ряд выводов, показывающих, что различные параметры излучения абонентских терминалов стандарта IMT-TC-450 количественно меньше, чем стандарта GSM-900/1800. В частности:

1. Напряженность поля (физическая величина, характеризующая электрическое поле в данной точке), создаваемая абонентским терминалом, зависит от частоты (IMT-TC-450 и GSM 900/1800), на которой он работает. В НИР показано, что резонанс наблюдается =1200 МГц. В этих условиях наименьшая напряженность поля у того стандарта, рабочая частота которого существенно удалена от (IMT-TC-450).

2. С точки зрения нормативов, для частот 450, 900, 1800 и 2100 МГц, при типовых геометрических размерах абонентского терминала, наиболее предпочтительный номинал мощности абонентского терминала составляет не более 0,85 Вт. Однако, при этом следует помнить, что это является средней оценкой значения мощности, т.е. с вероятностью 0,5. Для повышения вероятности до 0,95 необходимо снизить уровень до 0,7 Вт. Причем, необходимо отметить, что максимальная мощность терминала GSM 900/1800 составляет 2 Вт, а терминала IMT-TC-450 составляет 0,2 Вт.

3. В НИР были получены результаты расчета мощности абонентского терминала и плотности потока энергии (ППЭ), создаваемого им, в зависимости от его расстояния от базовой станции (от десятков метров до нескольких километров, в НИР). На всем протяжении, как мощность, так и плотность потока энергии существенно ниже у абонентских терминалов IMT-TC-450, чем у терминалов GSM 900/1800. Мощность абонентских терминалов IMT-TC-4 от 2 до 15 раз ниже, чем у терминалов GSM 900/1800 в зависимости от расстояния, а ППЭ от 6 до 300 раз. Необходимо отметить, что именно ППЭ является величиной, показывающей количество поглощаемой энергии в точке поля вблизи абонентского терминала.

Литература.

1. Вихарев А. П. Влияние сотовой связи на здоровье пользователя / А. П. Вихарев // Наука-производство-технологии-экология : сб. материалов конф. - Киров, 2004. - Т. 4. - С. 181-182.

2. Редковская В. Ю. Влияние мобильных сотовых телефонов на здоровье человека / В. Ю. Редковская, В. В. Ачнасов // Научная сессия ТУСУР-2006: материалы докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и мол. ученых. - Томск, 2006. - Ч.5. - С. 92-94.
3. Гоноболин, Ф.Н. Психология: учебник для студентов вузов. М.: Просвещение, 2013.
4. Девисилов В. Безопасны ли мобильные телефоны? / В. Девисилов // ОБЖ. Основы безопасности жизни. - 2003. - N10(88).-С.53-60.
5. Попов А. Мобильниками снова пугают, но не сильно/ А.Попов // Эхо планеты. - 2003. - N14.-С.10-11.
6. Персон Т. Мобильная связь и здоровье человека.// Мобильные телекоммуникации. - 2004. -№1. - с.25-30.
7. Румянцев Г.Н. Анализ патогенной значимости излучений мобильных телефонов.//Вестник РАМН. - 2004. -№6. - с.31-35.
8. Емельянов М.А., Суханов М.А. Электромагнитные излучения и их воздействия на организм человека // Сборник научных трудов I Региональной научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» / под ред. В.А. Клименова, А.В. Юрченко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – С. 118 – 120.
9. Емельянов М.А., Суханов М.А. Электромагнитные излучения как фактор воздействия // Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и учащейся молодежи «Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении» / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – С. 406-407.

### РАДИАЦИЯ И РАДИОАКТИВНОСТЬ

*А.А Садыков, студент гр. 10741, А.Э. Файзуллоев, студент гр. 17В41,*

*научный руководитель: Соболева Э.Г., к.ф.-м.н., доцент,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62*

*E-mail: aas159@tpu.ru*

Радиоактивностью называют неустойчивость ядер некоторых атомов, которая проявляется в их способности к самопроизвольному превращению (по научному – распаду), что сопровождается выходом ионизирующей радиации (излучения). Энергия такого вида радиация (излучения) очень велика, поэтому она способна воздействовать на вещество, создавая более новые ионы с разными знаками. Вызывать радиацию (излучение) с помощью химических реакций нельзя, это полностью физический процесс [1].

#### **Различают несколько видов радиации:**

- Относительно тяжелые частицы, заряженные положительно, представляют с собой ядра гелия это - **Альфа-частицы** .
- Обычные электроны - **Бета-частицы** .
- Имеет ту же природу, что и видимый свет, однако гораздо большую проникающую способность это - **Гамма-излучение**.
- Электрические нейтральные частицы, возникающие в основном рядом с работающим атомным реактором, доступ туда должен быть ограничен это - **Нейтроны** .
- Похожи на гамма-излучение, но имеют меньшую энергию, кстати, Солнце – один из естественных источников таких лучей, но защиту от солнечной радиации обеспечивает атмосфера Земли это - **Рентгеновские лучи** .

#### **Радиация и здоровье человека [2]**

Наиболее с точки зрения опасно для человека Альфа, Бета и Гамма излучение, которое может привести к серьезным заболеваниям, генетическим нарушения и даже не исключено к смерти. Степень влияния радиации на здоровье человека на столько сильна, что зависит от вида излучения, времени и частоты. Таким образом, последствия излучения радиации, которые могут привести к фатальным случаям, бывают как при однократном пребывании у сильнейшего источника излучения (естественного или искусственного), так и при хранении слаборадиоактивных предметов у себя дома (антиквариата, обработанных радиацией драгоценных камней, изделий из радиоактивного пластика).

Заряженные частицы очень активны и сильно взаимодействуют с веществом, поэтому даже одной альфа-частицы может хватить, для того чтобы уничтожить живой организм или повредить огромное количество клеток. Впрочем, по этой же причине достаточным средством защиты от радиации данного типа является любой слой твердого или жидкого вещества, например, обычная одежда. Воздействие радиации на организм человека называют облучением. Во время этого процесса энергия радиации передается клеткам, разрушая их. Облучение может вызывать всевозможные заболевания: инфекционные осложнения, нарушения обмена веществ, злокачественные опухоли и лейкоз, бесплодие, катаракту и т.д. Особенно остро радиация воздействует на делящиеся клетки, поэтому она особенно опасна для детей. Организм реагирует на саму радиацию, а не на её источник. Радиоактивные вещества могут проникать в организм через кишечник (с пищей и водой), через лёгкие (при дыхании) и даже через кожу при медицинской диагностике радиоизотопами. В этом случае имеет место внутреннее облучение. Кроме того, значительное влияние радиации на организм человека оказывает внешнее облучение, т.е. источник радиации находится вне тела. Наиболее опасно, безусловно, внутреннее облучение (см. таблицу 1).

### Единицы измерения радиоактивности [3]

Радиоактивность измеряется в Беккерелях сокращенно (Бк), что соответствует одному распаду в секунду. Содержание радиоактивности в веществе также часто оценивают на единицу веса – Бк/кг, или объема – Бк/куб.м. Иногда встречается такая единица как Кюри сокращенно (Ки). Это огромная величина, равная 37 миллиардам Бк. При распаде вещества источник испускает ионизирующее излучение, мерой которого является экспозиционная доза. Её измеряют в Рентгенах (Р). 1 Рентген достаточно большая величина, поэтому на практике используют миллионную (мкР) или тысячную (мР) долю Рентгена.

Бытовые дозиметры измеряют ионизацию за определенное время, т.е. не саму экспозиционную дозу, а её мощность радиации. Единица измерения – микрорентген в час. Именно этот показатель наиболее важен для человека, так как позволяет оценить опасность того или иного источника радиации.

Таблица 1

Элемент		Органы максимального накопления радионуклидов		Доля полной дозы *
		Наиболее чувствительный орган или ткань	Масса органа или ткани, кг	
Углерод	C	Все тело	70	1.0
Водород	H	Все тело	70	1.0
Натрий	Na	Все тело	70	1.0
Калий	K	Мышечная ткань	30	0.92
Стронций	Sr	Кость	7	0.7
Йод	I	Щитовидная железа	0.2	0.2
Цезий	Cs	Мышечная ткань	30	0.45
Барий	Ba	Кость	7	0.96
Радий	Ra	Кость	7	0.99
Торий	Th	Кость	7	0.82
Уран	U	Почки	0.3	0.065
Плутоний	Pu	Кость	7	0.75

### Измерение уровня радиации

Измерить уровень радиации можно с помощью прибором дозиметром. Бытовые приборы просто не заменимы для тех, кто хочет максимально обезопасить себя от смертельно опасного влияния радиации. Основное предназначение бытового дозиметра – измерение мощности дозы радиации в том месте, где находится человек, обследование определенных предметов (грузов, стройматериалов, денег, продуктов питания, детских игрушек и т.п.). Купить прибор, измеряющий радиацию, просто необходимо тем, кто часто бывает в районах радиационного загрязнения, вызванных аварией на Чернобыльской АЭС (а такие очаги присутствуют практически во всех областях европейской территории России). Прибор дозиметр поможет и тем, кто бывает в незнакомой местности, удаленной от цивилизации: в походе, собирая грибы и ягоды, на охоте. Обязательно необходимо обследовать на радиационную безопасность место предполагаемого строительства (или покупки) дома, дачи, огоро-

да или земельного участка, иначе вместо пользы подобная покупка принесет только смертельно опасные заболевания.

Очистить продукты, землю или предметы от радиации практически невозможно, поэтому единственный способ обезопасить себя и свою семью – держаться от них подальше. А именно бытовой прибор дозиметр поможет выявить потенциально опасные источники излучения.

### **Нормы радиоактивности**

В отношении радиоактивности существует большое число норм, т.е. стараются нормировать практически все. Другое дело, что нечистые на руку продавцы, в погоне за большой прибылью, не соблюдают, а иногда и откровенно нарушают нормы, установленные законодательством. Основные нормы, установленные в России, прописаны в Федеральном законе №3-ФЗ от 05.12.1996 г «О радиационной безопасности населения» и в Санитарных правилах 2.6.1.1292-03 «Нормы радиационной безопасности».

*Для вдыхаемого воздуха, воды и продуктов питания* регламентировано содержание как техногенных (полученных в результате деятельности человека), так и естественных радиоактивных веществ, которые не должны превышать нормы, установленные СанПиН 2.3.2.560-96.

*В строительных материалах* нормируется содержания радиоактивных веществ семейства тория и урана, а также калия-40, удельная эффективная активность их рассчитывается по специальным формулам. Требования к строительным материалам также указаны в ГОСТ.

*В помещениях* регламентируется суммарное содержание торона и радона в воздухе: для новых зданий оно должно быть не больше 100 Бк (100 Бк/м<sup>3</sup>), а для уже эксплуатируемых – менее 200 Бк/м<sup>3</sup>. В Москве применяются также дополнительные нормы МГСН2.02-97, где регламентируются максимально допустимые уровни ионизирующего излучения и содержание радона на участках застройки.

*Для медицинской диагностики* предельные дозовые значения не обозначены, однако выдвигаются требования минимально достаточных уровней облучения, чтобы получить качественную диагностическую информацию [4, 5, 6].

*В компьютерной технике* регламентируется предельный уровень излучения для электронно-лучевых (ЭЛТ) мониторов. Мощность дозы рентгеновского излучения на любой точке на расстоянии 5 см от видеомонитора или персонального компьютера не должна превышать 100 мкР в час.

### **Является ли компьютер источником радиации?**

Этот вопрос, в век распространения компьютерной техники, волнует многих. Единственной частью компьютера, которая теоретически может быть радиоактивной является монитор, да и, то, только электронно-лучевой. Современные дисплеи, жидкокристаллические и плазменные, радиоактивными свойствами не обладают.

ЭЛТ мониторы, как и телевизоры, являются слабым источником излучения рентгеновского типа. Оно возникает на внутренней поверхности стекла экрана, однако благодаря значительной толщине этого же стекла, оно и поглощает большую часть излучения. До сегодняшнего дня не обнаружено никакого влияния ЭЛТ мониторов на здоровье. Впрочем, при повсеместном применении жидкокристаллических дисплеев этот вопрос теряет былую актуальность.

### **Может ли человек стать источником радиации?**

Радиация, воздействуя на организм, не образует в нем радиоактивных веществ, т.е. человек не превращается сам в источник радиации. Кстати, рентгеновские снимки, вопреки распространенному мнению, также безопасны для здоровья [4, 5, 6]. Таким образом, в отличие от болезни, лучевое поражение от человека к человеку передаваться не может, зато радиоактивные предметы, несущие в себя заряд, могут быть опасны.

### **Литература.**

1. Что такое радиация и радиоактивность? [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.dozimetr.biz/o\\_radiacii\\_i\\_radioaktivnosti.php](http://www.dozimetr.biz/o_radiacii_i_radioaktivnosti.php).
2. Радиация и здоровье человека [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://otherreferats.allbest.ru/life/00067022\\_0.html](http://otherreferats.allbest.ru/life/00067022_0.html).
3. Единицы измерения радиоактивности [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/articles/5707/>
4. Игишева А. Л., Литвиненко В. В. Влияние эффективной дозы облучения при рентгенологических обследованиях на организм человека [Электронный ресурс] // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность". В

2 т, Томск, 26-30 Мая 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 2 - С. 132-134. - Режим доступа: [http://portal.tpu.ru/files/departments/publish/INK\\_KONFERENTCIIa\\_NERAZRUSH\\_KONTROL%60\\_TOM\\_2.pdf](http://portal.tpu.ru/files/departments/publish/INK_KONFERENTCIIa_NERAZRUSH_KONTROL%60_TOM_2.pdf).

5. Игишева А. Л. , Литвиненко В. В. , Соболева Э. Г. Исследование эффективной дозы облучения при рентгенологических обследованиях // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 17-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 83-85.
6. Игишева А. Л. , Литвиненко В. В. Эффективная доза облучения при рентгенологических обследованиях // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 3-5 Апреля 2014. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014 - С. 507-509.

### **АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ**

*Э.Г. Соболева, к.ф.-м.н., доцент, Ш.С. Нозирзода, студент гр. 10741,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62  
E-mail: sobolevaeno@mail.ru*

В настоящее время имеется ряд монографий и других работ, в которых достаточно полно рассмотрены современные методы исследования упругих свойств твердых веществ [1 – 8]. В качестве характеристик упругих свойств служат упругие модули – модуль Юнга  $E$ , модуль сдвига  $G$ , модуль объемной упругости (модуль всестороннего сжатия)  $B$ , объемная сжимаемость  $\chi$ , коэффициент Пуассона  $\sigma$ . В теории упругости поликристаллов (упругоизотропных тел) широко используются также упругие постоянные (упругие коэффициенты) Ламе  $\lambda$  и  $\mu$ . Упругие свойства упруго анизотропных твердых тел (монокристаллов, текстур) характеризуются набором постоянных жесткости  $c_{ij}$  или постоянных податливости  $s_{ij}$ , количество которых зависит от кристаллографической системы (кристаллографического класса): для низкосимметричных триклинных кристаллов 21 постоянная жесткости, для высокосимметричных кубических кристаллов 3 постоянные жесткости –  $c_{11}$ ,  $c_{12}$ ,  $c_{44}$  [8].

Различия в характере термодинамических условий процессов измерений делят все существующие многочисленные экспериментальные методы исследования упругих свойств твердых веществ на две большие группы. К первой группе относятся так называемые статические методы, развитые в работах Фохта и примененные впоследствии Бриджменом и другими авторами к исследованию ряда кристаллов. Статические измерения проводятся практически в изотермических условиях, т. е. получаемые в этих методах упругие характеристики являются изотермическими. Статические методы основываются на наблюдении статических деформаций растяжения, изгиба или кручения твердых веществ. Обычно в этих методах применяются крупные образцы в виде стержней (с круглым или прямоугольным сечением) или пластин, при этом длина стержня должна быть значительно больше его поперечного сечения. Полученные величины деформаций используются для расчета значений упругих параметров веществ. Часто при использовании статических методов создаются большие механические напряжения, что вызывает нелинейные эффекты и случайные трещины в образце. Кроме того, статические упругие постоянные всегда являются релаксированными, так как на чисто упругую деформацию образца накладываются деформации, связанные с ползучестью и упругим последствием. Применение статических методов ограничено, в основном, исследованиями свойств металлов, горных пород и ряда конструкционных материалов, где имеющаяся возможность использования крупных образцов значительно снижает ошибки измерений.

Точность статических методов зависит от точности измерения малой деформации (чтобы не допустить пластической деформации). Ряд приборов, употреблявшихся для измерения малых деформаций, основан на оптических методах, использующих оптические рычаги, легкие изогнутые коромысла и расчете интерференционных полос. При электрических же методах измерения применяют конденсатор, одной из пластин которого является образец, или используют датчики сопротивления, жестко соединенные с образцом. Для измерения малых деформаций, вызванных напряжением в упругой области, целесообразно также использовать дифракцию рентгеновских лучей, так как параметры решетки можно определять рентгеновским методом с высокой точностью.

Другая группа методов – динамические методы – используют для определения упругих характеристик высокочастотные колебания кристаллов. Характерной чертой динамических методов в звуковой и низкой ультразвуковой области частот (ниже 1 МГц) является то, что во время измерения в образце или системе, включающей в себя образец, устанавливается стоячая волна. Динамические методы обычно дают более высокую точность, чем статические, за счет того, что при динамических методах измеряют резонансную частоту, а не малое смещение. Для того чтобы узнать скорость распространения звука в случае свободно колеблющейся системы, необходимо знать период колебаний и размеры образца в направлении распространения колебаний. При вынужденных колебаниях, которые используются чаще, чем свободные, определяется частота резонанса. Оба метода дают возможность одновременно получить сведения и о затухании упругих колебаний.

Все многочисленные динамические методы, в свою очередь, можно разделить на три большие группы: а) методы, связанные с определением собственных частот колебаний кристаллических образцов (резонансные методы); б) методы, использующие определение скорости звука в выбранных направлениях в анизотропной среде (оптический метод, метод клина, импульсный метод); в) методы, основанные на взаимодействии кристаллической решетки с изучением (метод рассеяния рентгеновских лучей, рассеяния тепловых нейтронов и др.). В оптически прозрачных твердых телах длину коротких ультразвуковых волн удобно измерять за счет дифракции света на ультразвуке (метод Бергмана - Шеффера), а также за счет рассеяния видимого света длинными волнами решетки (рассеяние Манделъштам - Бриллюэна). В последние годы разработаны методики для исследования акустических волн, генерируемых в твердых телах плотными электронными пучками наносекундной длительности [2].

Многообразие существующих методов измерения обеспечивает проведение исследований упругих свойств твердых веществ в различных термодинамических условиях. К настоящему времени сложилась определенная «специализация» разных групп методов [9].

Статические методы измерения сохранили свое значение при исследовании поликристаллических материалов (металлов, керамик, горных пород), полимеров, пластиков и других технических материалов. Резонансные методы, особенно метод составного вибратора и методы, использующие электростатический способ возбуждения колебаний стержней, оказались наиболее удобными при измерениях в области высоких температур, где импульсные методы практически непригодны. Разные модификации импульсных методов (число этих модификаций, по - видимому, исчисляется десятками) применяются для изучения упругих свойств твердых тел самой разнообразной природы. Стекла, смолы, смазочные материалы, металлы и сплавы, горные породы, искусственные и природные монокристаллы, образцы разной степени совершенства и разных размеров (от 2-3 мм до метра) – вот далеко не полный перечень объектов применения импульсных методов. Несомненной монополией импульсных методов являются измерения в области высоких давлений, где резонансные методы принципиально неприменимы.

В динамических методах частоты настолько высоки, что процесс можно считать адиабатическим, так как тепловые потоки в образце не могут поддерживать температуру постоянной в этой области частот, а тепловой контакт с окружающей средой обычно недостаточен. Получаемые в этих методах значения упругих характеристик – адиабатические. Между адиабатическими (индекс S) и изотермическими (индекс T) упругими характеристиками (например, модулями Юнга  $E_S$ ,  $E_T$ , или модулями объемной упругости  $B_S$ ,  $B_T$ ) имеет место связь:

$$1/E_S = 1/E_T - \alpha^2 T / \rho C_p; \quad 1/B_S = 1/B_T - \beta^2 T / \rho C_p,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – соответственно температурные коэффициенты линейного и объемного расширения;  $c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении;  $\rho$  – плотность среды.

В статье Хирмона [3] показано, что разность между адиабатическими и изотермическими характеристиками твердых тел вообще мала, порядка единиц процентов, и обычно ею пренебрегают, так как она меньше погрешности измерений при статических методах.

Таким образом, проведен краткий сравнительный анализ экспериментальных методов исследования упругих свойств твердых веществ, что позволяет проводить исследования в различных термодинамических условиях.

Литература.

1. Никаноров С. П., Кардашев Б. К. Упругость и дислокационная неупругость кристаллов. М.: Изд-во «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 250 с.

2. Беломестных В. Н., Похолков Ю. П., Ульянов В. Л. и др. Упругие и акустические свойства ионных, керамических диэлектриков и высокотемпературных сверхпроводников. Томск: STT, 2001. 226 с.
3. Hearmon R. F. S. The elastic constants of anisotropic materials. // Rev. Modern Phys. 1946. V. 15. №3. P. 409 – 440.
4. Hearmon R. F. S. The elastic constants of anisotropic materials II // Advances Phys. 1956. V. 5. P. 323 – 383.
5. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. Пер. с нем. под ред. В. С. Григорьева и Л. Д. Розенберга. Изд. 2-е. М.: ИИЛ, 1957. 726 с.
6. Хантингтон Г. Упругие постоянные кристаллов. I. II. // УФН. 1961. Т. 74. №2. С. 303 – 352; Т. 74, №3. С. 461 – 520.
7. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. Пер. с англ. И. Г. Михайлова и В. В. Леманова. М.: Изд-во «Мир», 1972. 307 с.
8. Беломестных В.Н., Соболева Э.Г. Акустические, упругие и неупругие свойства кристаллов галогенатов натрия.- Томск: Изд. ТПУ, 2009. - 276 с.
9. Беликов Б. П., Александров К. С., Рыжова Т. В. Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород. М.: Наука, 1970. 274 с.
10. Hearmon R. F. S. The elastic constants of anisotropic materials. // Rev. Modern Phys. 1946. V. 15. №3. P. 409 – 440.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Е.П. Теслева, к.ф.-м.н., доц; А.В. Соловян, студ. группы 10В41,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

В изучении поведения твердого тела при изменении его линейных и (или) объемных размеров важная роль принадлежит коэффициенту Пуассона  $\sigma$ . Коэффициент Пуассона  $\sigma$  характеризует стремление материала сохранять в процессе упругой деформации свой первоначальный объем и в связи с этим является важнейшим эксплуатационным параметром твёрдых тел. По определению коэффициент Пуассона твёрдого тела записывается в виде [1]:

$$\sigma = -\frac{\Delta d / d}{\Delta \ell / \ell} \quad (1)$$

где  $\Delta d / d$  – относительная поперечное сужение образца с поперечным размером  $d$ ;  $\Delta \ell / \ell$  – относительное продольное удлинение образца длиной  $\ell$  при нагрузке. Коэффициент  $\sigma$ , непосредственно измеренный по (1), является статическим (изотермическим) и имеет сравнительно большую погрешность из-за ограниченной точности определения деформации, а также возможности пластического течения материала, особенно при повышенных температурах [2]. Кроме этого, в большинстве случаев реальные изделия, машины и механизмы эксплуатируются в условиях динамических нагрузок и требуют для объективных расчётов своего поведения знания адекватных динамических параметров. В связи с выше изложенным в настоящее время упругие свойства материалов изучаются динамическими методами, основанными на наблюдении свободных и вынужденных колебаний образцов или на изучении характера распространения акустических волн.

Динамический (адиабатический) коэффициент Пуассона определяется косвенным методом по величинам скоростей распространения звука или модулям упругости и основными расчётными соотношениями при этом являются:

$$\sigma = \frac{2 - \chi^2}{2 - 2 \cdot \chi^2}, \quad \chi = \frac{v_L}{v_t} \quad (2); \quad \sigma = \frac{E}{2 \cdot G} - 1 \quad (3); \quad \sigma = \frac{1}{2} - \frac{1}{6} \cdot E \cdot \chi \quad (4);$$

$$\sigma = \frac{3 \cdot K - 2 \cdot G}{6 \cdot K - 2 \cdot G} \quad (5); \quad \sigma = -\frac{s_{12}}{s_{11}} = \frac{c_{12}}{c_{11} + c_{12}} \quad (6); \quad \sigma = \frac{c_{12}}{2 \cdot (c_{12} + c_{44})} \quad (7),$$

где  $v_L, v_t$  – соответственно, скорости распространения продольных в «неограниченной среде» и поперечных упругих волн;  $E, G, K$ , соответственно упругие модули Юнга, сдвига и объёмной упругости (всестороннего сжатия);  $\chi$  – сжимаемость;  $s_{ij}, c_{ij}$ , соответственно, коэффициенты упругой податливости и жёсткости.

Помимо соотношений (2) – (7) коэффициент Пуассона входит в ряд формул, связывающих его с другими физико – механическими, энергетическими, спектроскопическими, микроскопическими и сверхпроводящими параметрами материалов

По версии А. С. Баланкина [3], максимум информации при анализе данных о  $\sigma$  можно получить по сравнению с анализом данных о любой другой одной характеристике упругости. Однако такой анализ правомерен лишь при достоверных сведениях о коэффициенте Пуассона. Вместе с тем расхождения между непосредственно измеренными  $\sigma$  и вычисленными по приведённым формулам из результатов косвенных экспериментов могут быть весьма значительными. Так, например, в [4] показано, что расчётная из модулей упругости величина коэффициента Пуассона бериллия на 500% больше измеренной, а для кадмия на 110% меньше. Для неорганических материалов, по нашим сведениям, вопрос о корректном определении коэффициента Пуассона из акустических исследований, систематически не изучался. Не проведена также методологическая экспертиза расчётных соотношений (2) – (7).

В настоящей работе на примере модельных материалов класса ионных соединений типа галогенидов щелочных металлов (ЩГК) выполнены исследования на предмет косвенного определения их коэффициентов Пуассона, которые мы рассматриваем прелюдией к сформулированной выше научной теме. Непосредственному акустическому эксперименту подверглись хлориды щелочных металлов (Li, Na, K, Rb, Cs) и галогениды калия (KF, KCl, KBr, KJ). Образцы указанных соединений представляли собой моно – и поликристаллы с геометрией «неограниченной среды» и «стержня». Для измерения скоростей распространения продольных и поперечных упругих волн использовались два известных метода: импульсный с частотой 1,67 МГц и резонансный с частотой  $\approx 100$  кГц. Скорости ультразвука измерялись с точностью, не хуже 0,5% (в случае монокристаллов вдоль двух кристаллографических направлений – [100] и [110]). Плотность  $\rho$  исследованных веществ измерялась методом гидростатического взвешивания с погрешностью  $\pm 0,001$  г/см<sup>3</sup>. Расчёт констант упругости и упругих модулей проводился по стандартной процедуре с использованием известных соотношений теории упругости [1]. Сведения о  $V_L$ ,  $V_T$ , E, G, K,  $\chi$ ,  $c_{ij}$  для неисследованных нами веществ из группы ЩГК взяты из [5, 6].

В табл. 1 представлены результаты расчётов значений коэффициентов Пуассона для соединений всей группы ЩГК при естественных условиях (атмосферное давление, комнатная температура) по формулам (2) – (7).

Таблица 1

Коэффициент Пуассона галогенидов щелочных металлов

Вещество	Расчёт по формуле					
	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
LiF	0,193	0,194	0,192	0,192	0,240	0,198
LiCl	0,245	0,245	0,245	0,245	0,314	0,238
LiBr	0,257	0,256	0,257	0,256	0,323	0,248
LiJ	0,266	0,267	0,264	0,265	0,329	0,255
NaF	0,236	0,236	0,237	0,236	0,200	0,232
NaCl	0,249	0,253	0,248	0,249	0,200	0,245
NaBr	0,245	0,270	0,255	0,254	0,200	0,250
NaJ	0,263	0,262	0,261	0,261	0,211	0,247
KF	0,275	0,275	0,275	0,275	0,185	0,274
KCl	0,279	0,279	0,278	0,278	0,145	0,259
KBr	0,282	0,272	0,284	0,282	0,143	0,265
KJ	0,292	0,292	0,292	0,292	0,145	0,276
RbF	0,294	0,294	0,293	0,293	0,180	0,289
RbCl	0,296	0,299	0,294	0,295	0,143	0,280
RbBr	0,293	0,285	0,296	0,296	0,131	0,274
RbJ	0,301	0,284	0,304	0,301	0,128	0,288
CsF	0,237	0,240	0,239	0,238	0,137	0,225
CsCl	0,263	0,270	0,264	0,265	0,202	0,267
CsBr	0,254	0,259	0,253	0,254	0,235	0,254
CsJ	0,237	0,253	0,254	0,254	0,208	0,252

На основе этих данных можно сделать следующие предварительные выводы:

– для простых бинарных соединений с кубической решёткой коэффициент Пуассона близок к теоретическому ( $\sigma=0,250$ );  
– формулы (2)–(5) дают согласованные значения  $\sigma$ ;  
– расчёты  $\sigma$  через анизотропные упругие параметры (формулы (6), (7)) удовлетворительно согласуются с значениями коэффициента Пуассона при расчёте из акустических и упругих характеристик однородного изотропного твёрдого материала (формулы (2) – (5)) только для кристаллов объемно-центрированной кубической решёткой (CsCl, CsBr, CsJ);  
– наиболее простым и в тоже время надёжным способом определения динамического коэффициента Пуассона следует признать акустический (формула (1)), не требующий дополнительных сведений о плотности вещества.

#### Литература.

1. Беломестных В. Н., Похолков Ю. П., Ульянов В. А., Хасанов О. А. Упругие и акустические свойства ионных, керамических диэлектриков и высокотемпературных сверхпроводников. – Томск: STT, 2001. – 226 с.
2. Никаноров С. П., Кардашев Б. К. Упругость и дислокационная неупругость кристаллов. – М.: Наука, Гл. ред. физ. – мат. лит., 1985. – 250 с.
3. Баланкин А. С. Упругие свойства сверхпроводников со структурой A15 // ФНТ. – 1988. – Т. 14, № 4 – С. 339 – 347.
4. Иванов Г. П., Лебедев Т. А. О физическом смысле коэффициенте Пуассона // Тр. ЛПТИ. – Л., 1964. – № 236. – С. 38 – 46.
5. Физическая акустика. Под ред. У. Мэзона. Том 3. Часть 5. Динамика решётки. Пер. с англ. под ред. И. Л. Фабелинского. – М.: Мир, 1968. – 391 с.
6. Францевич И. Н., Воронов Ф. Ф., Бакута С. А. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов. Справочник. – Киев: Наукова Думка, 1982. – 286 с.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ Г. ЮРГИ

*В.Ф. Торосян, к.пед.н., доцент, Ф.В. Шмидт, ст. гр.17Г20, М.О. Танчев, ст. гр.17Г20  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: torosjaneno@mail.ru*

В процессе эволюции и жизнедеятельности человек испытывает влияние естественного электромагнитного фона, который обеспечивает непрерывное взаимодействие с изменяющимися условиями внешней среды.

Основные естественные источники электромагнитных полей:

#### 1) Атмосферное электричество

Атмосферное электричество – это электрические явления в земной атмосфере. В воздухе имеются положительные и отрицательные электрические заряды – ионы, возникающие под действием радиоактивных веществ, космических лучей и ультрафиолетового излучения Солнца. Все проявления атмосферного электричества тесно связаны между собой на их развитие сильно влияют локальные метеорологические факторы. К области атмосферного электричества относят процессы, происходящие в тропосфере и стратосфере.

#### 2) Радиоизлучения Солнца и галактик

Частотный диапазон радиоизлучения Солнца и галактик довольно широк – от 10 МГц до 10ГГц. Интенсивность солнечного радиоизлучения напрямую связано с солнечной активностью. Поток радиоизлучений из галактик на частоте 100МГц составляет по порядку величины Вт/м<sup>2</sup>/МГц. Интенсивность этих радиоизлучений изменяется с суточной периодичностью, что связано с вращением Земли относительно источников излучений. Радиоизлучения изменяются по интенсивности с периодичностью 27–28 дней, связанной с вращением Солнца, и с 11-летней периодичностью солнечной активности [1].

#### 3) Электрическое поле Земли

Электрическое поле Земли направлено нормально к земной поверхности, заряженной отрицательно относительно верхних слоев атмосферы. Напряжённость этого поля зависит от географиче-

ской широты: она максимальна в средних широтах, а к экватору и полюсам убывает [2]. Величина электрического поля Земли испытывает периодические годовые и суточные изменения. Годовые изменения электрического поля сходны по характеру на всей Земле: максимальная напряжённость от 150 до 250 В/м в январе-феврале и минимальная от 100 до 120 В/м в июне – июле. Суточные изменения носят как общепланетарный, так и местный характер [3].

#### 4) Геомагнитное поле

Земля обладает магнитным полем, неоднородным по своей структуре и динамическим свойствам. По классификации Б.М.Яновского[4], геомагнитное поле является суммой нескольких полей:

- поля, создаваемого однородной намагниченностью земного шара;
- поля, создаваемого неоднородностью глубоких слоев земного шара, материкового поля;
- поля, обусловленного различной намагниченностью верхних частей коры, аномального поля;
- поля, источник которого находится вне Земли, внешнего поля;
- поля вариаций, вызванного причинами, лежащими вне Земли.

Геомагнитное поле может искажаться, при этом возникают аномалии:

- материковые, площадь которого сопоставима с континентами;
- региональные, занимающие площадь в десятки или сотни квадратных километров;
- локальные – возникают там, где магнитные породы залегают у поверхности Земли.

Причинами изменения являются:

- солнечный ветер;
- активность солнца.

Земля постоянно находится под потоком заряженных частиц, магнитных полей и излучений, которое излучает Солнце. Этот поток получил название Солнечного ветра. Солнечный ветер создает магнитные бури, полярные сияния. Встречая на своем пути Землю, солнечный ветер сильно деформирует ее магнитосферу, в результате чего наша планета обладает длинным магнитным «хвостом» направленным от Солнца. Магнитное поле Земли чутко отзывается на обдувающие её потоки солнечного вещества.

Город Юрга входит в состав Кемеровской области (главного угледобывающего региона страны), является муниципальным образованием и наделен Законом Кемеровской области статусом городского округа. Официальное наименование муниципального образования – «Юргинский городской округ».

Юрга расположена на северо-западе Кемеровской области в степной и лесостепной зонах. Город Юрга один из промышленных и культурных центров Кемеровской области, крупный железнодорожный узел. Располагается на левом берегу реки Томь, вне угленосных территорий Кузбасса, в наиболее благоприятном по условиям проживания и хозяйственной деятельности районе. Климат района резко континентальный. Продолжительность зимнего сезона составляет 6 месяцев. На территорию города приходится 1722 - 2186 часов солнечного сияния.

- Средняя максимальная температура воздуха на территории города наиболее жаркого месяца (июля) +23,8 0 С;

- Средняя максимальная температура воздуха наиболее холодного месяца (января) -22,1 0 С;

- Преимущественное направление ветра южное и юго-западное со средней годовой скоростью 4,0 м/с;

Численность населения (на 01.01.2012) – 81454 тыс. чел.

Многолетние наблюдения и результаты специальных экспериментов [5,6,7] показывают, что ЭМП, возбуждаемые в земной атмосфере «солнечным ветром» потоками заряженных частиц Солнца, динамическими процессами в земной коре, а также постоянное магнитное поле Земли, объясняемое наличием электрических токов в проводящей жидкости земного ядра, в целом составляющей электромагнитный фон Земли, имеют большое значение в формировании жизненных процессов на Земле.

Известно, что солнечная активность влияет на биологическую деятельность всех организмов, на рост эпидемий, инфекционных заболеваний.

Изменение электромагнитного поля коррелирует с годовым приростом деревьев, урожаем сельхозкультур.

За 2012 и 2013 годы посезонно были выявлены дни повышенной активности Солнца, и число людей, испытывающих стрессовые ситуации. Динамика активности Солнца представлена на диаграмме(рис. 1)

При этом средняя величина солнечной активности в 2012 году составляла  $K_p=2,7$ .

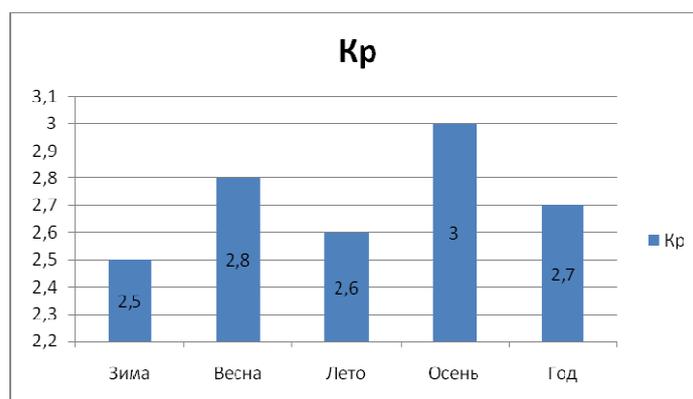


Рис. 1. Сезонное и годовое среднее значение активности Солнца (по величине Kp – модулю активности) в 2012 году

Анализ данных, по числу экстренных случаев сердечно-сосудистых заболеваний показывает что в 2012 г. их число составляло 9759, из них детских случаев заболевания сердечно-сосудистой системы было 20; число расстройств нервной системы составляло 2018, из них детских случаев 187.

Это позволило нам сделать вывод, о том, что величина среднего значения Солнечной активности и число сердечно-сосудистых заболеваний имеет прямо пропорциональную зависимость.

Литература.

1. Антипов В.В., Давыдов Б.И., Тихончук В.С. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений. М.: Энергоатомиздат, 2002. - 177 с.
2. Госьков П.И Информационно-энергетическое воздействие токов промышленной частоты на здоровье человека /П.И. Госьков, В.Н. Беккер, Ю.А. Шапов. astu.secna/~sua/goskov.htm Грачев Н.Н. Средства и методы защиты от электромагнитных и ионизирующих излучений.М., изд-во МИЭМ, 2005.– 215 с.
3. Григорьев Ю.Г. Человек в электромагнитном поле (существующая ситуация, ожидаемые биоэффекты и оценки опасности). // Радиационная биология. Радиоэкология. 1997. Т37. No.4. С.690 - 702.
4. Яновский Б.М.Земной магнетизм.// Физика. Изд-во Ленинградского ун-та, 4-издание. 1978г.- 315с.
5. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 175 с.
6. Кленов Г.Е., Ломов О.П., Бубнов В.А., Свядош Е.А. Электромагнитная экологическая обстановка крупного промышленного города // Конференция "Электромагнитное загрязнение окружающей среды" (Санкт-Петербург, 21-25 июня 1993 г.). Тезисы докладов. Санкт-Петербург: Ленинградский союз специалистов по безопасности деятельности человека, 1993. С.7 - 8.
7. Любимов В.В. Искусственные и естественные электромагнитные поля в окружающей человека среде и приборы для их обнаружения и фиксации. Препринт No.11 (1127) Троицк: ИЗМИРАН, 1999. - 28 с.
8. Любимов В.В. Биотропность естественных и искусственно созданных электромагнитных полей. Аналитический обзор. Препринт No.7 (1103) М.: ИЗМИРАН, 1997. - 85 с.
9. Пресман А.С. Электромагнитное поле и жизнь. М.: Наука 2003. - 215 с.
10. Современные проблемы изучения и сохранения биосферы. Свойства биосферы и ее внешние связи. – С.-Пб: Гидрометеиздат. 1992. Т.1. 288 с.

### ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГЕ

*А.П. Степанов, ст. преп., Ю.В. Сотокина, инженер, Е.М. Буракова, инженер  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7–77–62  
E-mail: juliazem@bk.ru*

Рассмотрим физические процессы, происходящие при возбуждении дуги методом короткого замыкания и последующего разведения электродов. Будем рассматривать самый простейший случай – электрическую дугу постоянного тока.

При подаче разности потенциалов на анод и катод, электроды дуги можно рассматривать как обкладки плоского конденсатора [1] (рис. 1).

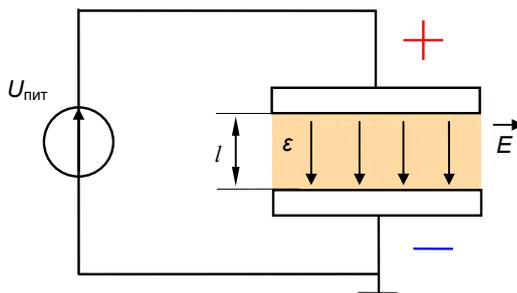


Рис. 1. Электрическое поле между электродами при возбуждении дуги

Рассмотрим электрический конденсатор, обкладки которого находятся под определенной разностью потенциалов  $U$ . Если начнем сближать обкладки, то напряженность поля внутри конденсатора, определяемая как  $E = U/h$ , начнет увеличиваться. Как следствие, начнет увеличиваться плотность электрической энергии:

$$w_E = \frac{\epsilon_a E^2}{2}, \quad (1)$$

со скоростью

$$\frac{\partial w_E}{\partial t} = \epsilon_a E \frac{\partial E}{\partial t}. \quad (2)$$

При сближении электродов конденсатора электрическое поле увеличивается, и ток смещения  $j_c = \partial D / \partial t$  будет направлен от положительной пластины к отрицательной (рис. 2, а). При разведении электродов электрическое поле будет уменьшаться, и ток смещения направлен от отрицательной пластины к положительной (рис. 2, б).

При изменении электрического поля между электродами возникает ток смещения, т.к. согласно уравнению Максвелла изменяющееся во времени электрическое поле вызывает появление вихревого магнитного поля

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j}_{\text{пр}} + \vec{j}_{\text{см}} = \vec{j}_{\text{пр}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \quad (3)$$

Направление магнитного поля будет противоположно при сближении и разведении электродов. Однако плотность тока в уравнении Максвелла является в общем случае суммой плотностей тока проводимости, тока смещения и конвективного тока

$$\text{rot } \vec{H} = \gamma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \rho \vec{v} + \vec{j}_{\text{см}}. \quad (4)$$

Поэтому, после разведения электродов, когда ток смещения уменьшается, начинает преобладать вклад от других токов. Это приводит к дальнейшему росту скорости изменения поля и поэтому изменения направления вихревого магнитного поля не будет, а будет происходить только увеличение напряженности вихревого магнитного поля.

Поверхность электродов имеет микронеровности. Электрическое поле у острия микронеровностей (выступов) всегда намного сильнее, чем в других местах. Это связано с тем, что радиус кривизны острия меньше, чем в других местах, поэтому поле у острия оказывается сильнее.

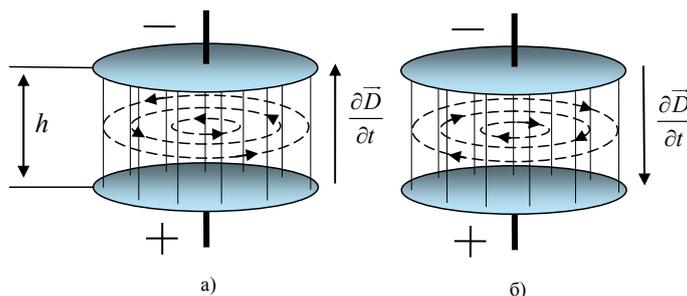


Рис. 2. Изменяющееся во времени внешнее электрическое поле

При сближении электродов резко увеличивается напряженность электрического поля между ними и с острия микронеровностей начинается автоэлектронная эмиссия. Под действием внешнего электрического поля ( $10^6 - 10^8$  В/см) заряженные частицы острия микронеровностей немедленно придут в упорядоченное, направленное движение, несмотря на наличие хаотических столкновений в межэлектродном пространстве. Эти направленные потоки носителей частиц образуют ток дуги и приводят к появлению собственного магнитного поля в столбе сварочной дуги, т.к. магнитное поле неразрывно связано с током.

Электроны начинают двигаться от отрицательного электрода к положительному, а ионы от положительного электрода к отрицательному. Сталкиваясь с атомами газа, заряженные частицы вызывают их ионизацию, дальнейшее лавинообразное увеличение носителей тока. Столкновения, процессы рекомбинации и ионизации вносят определенные возмущения в данное движение, однако в данной модели процессов можно пренебречь их влиянием. Это оправдано тем, что в межэлектродном промежутке действуют очень сильные электрическое и магнитное поля, и поэтому, несмотря на столкновения, рекомбинацию и т.д., упорядоченное движение электронов и ионов под влиянием этих полей является основной ведущей тенденцией.

В соответствии с уравнением Максвелла (4), чем меньше промежуток времени  $\Delta t$ , т.е. чем больше скорость изменения электрического поля, тем сильнее возникающее вихревое магнитное поле. Поэтому в межэлектродном промежутке возникают очень сильное вихревое магнитное поле.

На каждую заряженную частицу, оказавшуюся в вихревом магнитном поле, будет действовать сила Лоренца, которая, как известно, не меняет энергию, скорость частиц, а изменяет направление движения частиц. Под влиянием силы Лоренца, у заряженных частиц появляется поперечная компонента скорости, направленная к центру столба. Таким образом, в результате действия вихревого магнитного поля, появляется сила Лоренца и возникает дрейф заряженных частиц (рис. 3), т.е. упорядоченное движение носителей зарядов, и значит – электрический ток [2].

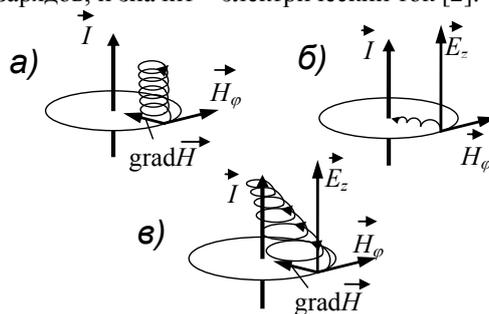


Рис. 3. Движение электрона в поле прямого проводника с током: а – чисто магнитный дрейф; б – дрейф в скрещенных электрическом и магнитном полях; в – результирующий дрейф

Качественно описать движение заряженных частиц в данном случае можно с помощью дрейфовой теории. Скорость дрейфа заряженных частиц по величине и направлению определяется по формуле [2]

$$\vec{u} = \frac{1}{2\omega H} (v_{\perp}^2 + 2v_{\parallel}^2) \left[ \vec{h} \text{grad } H \right], \quad (5)$$

где  $\vec{h}$  – единичный вектор вдоль направления напряженности магнитного поля  $\vec{H}$ .

Из-за неоднородности магнитного поля движение электронов будет происходить в направлении перпендикулярном к  $\vec{H}$  и  $\text{grad} H$  (рис. 3, а) [2]. Кроме этого дрейфового движения возникает также дрейф под действием электрического поля, обусловленного падением напряжения вдоль перемычки (рис. 3, б). Результирующая траектория изображена на рисунке 3, в.

Основное значение при анализе возбуждения дуги играет движение электронов, т.к. масса ионов значительно больше массы электронов [1], поэтому они обладают большой инерционностью. В результате дрейфа электронов, движущихся с острия микронеровностей, степень их упорядоченного движения будет увеличиваться, плотность тока возрастет, и напряженность собственного магнитного поля также резко увеличится, что приведет к еще большему возрастанию плотности тока, уплотнению потока электронов, формируя, таким образом, линию токопрохождения – токопроводящую «нить».

Также, между параллельными токопроводящими потоками, образованными движущимися частицами с различных микронеровностей, действует магнитная сила притяжения (сила Ампера)

$$F_M = \mu_0 \mu_r \frac{I_1 I_2}{2\pi r} l. \quad (6)$$

При одинаковом направлении тока, т.е. токов, образованных частицами одного знака, потоки будут притягиваться, при различных направлениях – потоки отталкиваются.

В итоге, совместное действие силы Лоренца и силы Ампера приводит к притяжению и закручиванию токовых нитей, образуя в месте максимальной напряженности электрического поля дуги токопроводящий канал, образованный вихревым движением заряженных частиц. Наиболее подвержены влиянию магнитного поля электроны. Ионы имеют большую массу и являются более инертными частицами. Поэтому сначала формируется электронный токопроводящий шнур, который образует основу вихревого канала проводимости в плазменном столбе электрической сварочной дуги.

При небольших токах вихревое движение плазменного столба дуги нетрудно заметить визуально. Однако с возрастанием силы тока увеличивается скорость вращения дуги, кроме этого при больших токах горения дуги также существуют вторичные эффекты: перенос электродного металла, газовые потоки и др. В этих условиях вращение столба дуги и активных пятен трудно визуально наблюдать. Тем не менее, при съемках скоростной цифровой кинокамерой «Видео-Спринт» электрической дуги переменного тока  $I=150$  А с угольными электродами, на скорости 1000 к/с, отчетливо зафиксировано вращение плазменного столба электрической дуги (рис. 4).

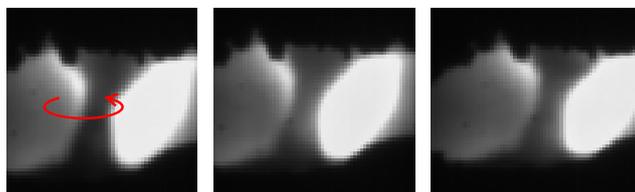


Рис. 4. Вращение столба электрической дуги  $I = 150$  А

Из теории вихрей известно следующее определение: вихревое движение – это движение жидкости или газа, при котором их малые элементы (частицы) перемещаются не только поступательно, но и вращаются около некоторой мгновенной оси (рис. 5).

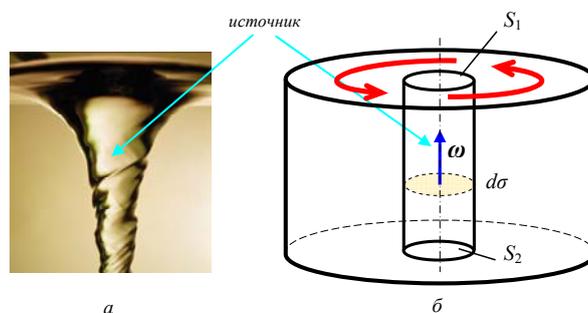


Рис. 5. Вихревое движение жидкости (газа)

Как следует из проведенных экспериментов, при горении электрической дуги существует вращательное движение заряженных частиц столба вокруг своей оси. При этом происходит также поступательное движение частиц по направлению к электродам. Значит, при горении электрической дуги происходит вихревое движение заряженных частиц и, следовательно, электрическая дуга является физическим объектом с вихревой структурой. Согласно вихревой теории вихрь имеет всегда свой источник [3] и, значит, электрическая дуга также должна иметь источник вихревого движения, которым является спиральный токопроводящий канал, формирующийся при возбуждении электрической дуги.

Литература.

1. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
2. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. – М.: Наука, 1978. – 225 с.
3. Жуковский Н.Е. Основы вихревого движения // Собрание сочинений. Т.7. – М.-Л.: Гостехиздат, 1950. С.132–149.

## ВЗАИМОСВЯЗЬ СОЛНЕЧНОЙ И ПОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Г.В. Хорошун, Х.А. Там-Оглы, студ. группы 10В41, Е.П. Теслева, к.ф.-м.н., доц.,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

Влияние Солнца на Землю многогранно и неоднозначно. Земля непрерывно получает от Солнца неизменный поток энергии, обеспечивающий наблюдаемый уровень освещённости и среднюю температуру поверхности. Кроме того, Земля подвергается комбинированному воздействию излучений от нестационарных солнечных процессов – проявлений солнечной активности.

Солнечная активность – комплекс явлений и процессов, связанных с образованием и распадом в солнечной атмосфере сильных магнитных полей. Она проявляется множеством явлений, наблюдаемых на поверхности Солнца. Это и солнечные пятна, и хромосферные вспышки, и выбросы вещества – протуберанцы. Наиболее изученный вид солнечной активности – изменение числа солнечных пятен. Количество солнечных пятен характеризуется с помощью числа Вольфа  $W$ , которое известно также как цюрихское число. Этот индекс использует комбинированное число пятен и число групп пятен, а также учитывает различия в наблюдательных приборах. Используя статистику числа солнечных пятен, наблюдения за которыми осуществлялось в течение сотен лет, и наблюдаемые взаимосвязи в последние десятилетия, производятся оценки светимости Солнца за весь исторический период.

Периодические изменения в солнечной активности называют солнечными циклами. Предполагается наличие большого количества циклов с периодами 11, 22, 87, 210, 2300 и 6000 лет. Основные циклы продолжительностью 11, 22 и 2300 лет носят также название, соответственно, циклов Швабе, Хейла и Холлстатта [1,2]. На рисунке 1 представлены солнечные циклы с 1700 года и до наших дней, а также выполнен прогноз до 2071 года.

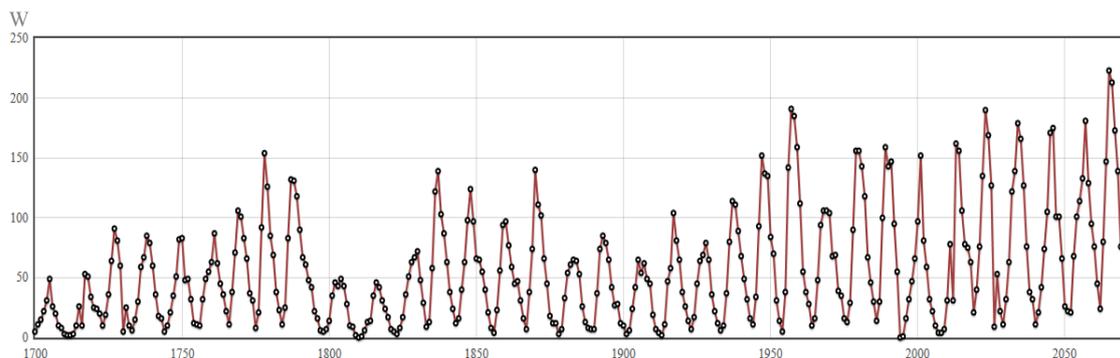


Рис. 1. Солнечные циклы (2015-2071 – прогноз) [3]

Изменение солнечной активности приводит к замиранию радиоволн, магнитным бурям, полярным сияниям. Кроме того наблюдаются изменения погоды, скорости роста растений и животных, самочувствия человека и животных и т.д.

В начале нынешнего века наш соотечественник А.Л. Чижевский (1897-1964) пришел к выводу, что жизнь человечества зависит от Солнца не только как от источника тепла и света – своими процессами оно синхронизирует ход всемирной истории. В 1924 г. он опубликовал итоги статистического анализа истории более чем 50 государств и народов всех континентов с 500 г. до н. э. до 1914 г. В каждом столетии всеобщий цикл важнейших исторических событий, названный Чижевским историометрическим, повторяется 9 раз. Следовательно, каждый такой цикл длится в среднем, как и цикл солнечной активности, около 11 лет. Солнечная активность, проявляющая себя в пятнообразовании, служит синхронизатором исторических процессов на нашей планете. Чижевский однозначно связывал эти циклы с циклами солнечной активности, объясняя ростом интенсивности психической деятельности людей, степени их возбудимости, агрессивности, готовности следовать за вождями, возникновения эпидемий, обострений нервных и психических заболеваний. Так, например, в летние месяцы 1915 г., в самый разгар Первой мировой войны, наблюдая в телескоп солнечные пятна, Чижевский обнаружил поразительный факт. Сразу же после прохождения больших групп пятен через центральный меридиан Солнца на многих фронтах усиливались военные действия [4].

В основу нашей работы положены методы анализа дат исторических событий и годов солнечной активности на протяжении XVIII-XXI веков. Чтобы проследить зависимость политической обстановки в мире от солнечной активности был выбран отрезок времени от 1700 до наших дней. График солнечных циклов совмещался с датами исторических и политических событий.

Анализ результатов показал, что в масштабах земного шара главные периоды жизни народов протекают циклично и синхронно. Концентрация исторических событий (политических конфликтов, войн, восстаний, революций) достигает наивысших значений при максимуме солнечной активности. Так, например, события на Украине выпали на пик солнечной активности. Незначительная концентрация событий приходится также и на минимум солнечной активности. Интенсивность длительных событий меняется синхронно с изменением солнечной активности. На основе прогноза солнечных циклов можно предположить увеличение числа политических конфликтов в 2023, 2034, 2046, 2057, 2065 гг.

Современная наука позволяет выявить фундамент историометрической теории Чижевского, ее физическую основу. В определенные эпохи, когда деятельность Солнца значительно и резко повышается, констатируется одновременный подъем нервно-психической возбудимости больших человеческих масс, выражающийся в увеличении числа массовых движений, психических и психопатических эпидемий. Таким образом, солнечная активность является сильнейшим экологическим фактором, значение которого пока недооценивается. Безусловно, историометрическая теория имеет право на дальнейшее развитие.

Литература.

1. Солнечная активность // Википедия [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. Климатообразующая роль Солнца. Показатели солнечной активности // [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [Mylektsii.ru http://www.mylektsii.ru/1-63586.html](http://www.mylektsii.ru/1-63586.html).
3. Г.П.Самарина, С.Е. Дорошко, В.А. Чекирда Ноосферная экономика: назад к истокам. Базисное значение труда и мотивации – СПб.:ПИФ.com, 2008. – 338 с.
4. А.Л. Чижевский Физические факторы исторического процесса - Калуга: 1-я Гостиполитография, 1924.

## НАДЕЖНОСТЬ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

*А.В. Симонова<sup>1</sup>, инженер,  
научный руководитель: Градобоев А.В. <sup>1,2</sup>, д. т. н., профессор,  
<sup>1</sup>АО «НИИПП», г. Томск,  
634034, г. Томск, ул. Красноармейская, 99а, +7 923 402 02 62*

*<sup>2</sup>Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, +7 913 866 84 05  
E-mail: <sup>1</sup>ainakim297@yandex.ru, <sup>2</sup>gradoboev1@mail.ru*

В настоящее время светодиодная техника становится все более популярной практически во всех сферах деятельности человека. При эксплуатации светодиодов (далее СД) большое внимание уделяется проблемам качества и надежности. Это особенно актуально для космической, атомной и военной промышленности.

Целью данной работы является обзор методов оценки надежности СД, при этом необходимо оценить эффективность их практического использования.

В качестве объекта исследования были выбраны СД и в меньшей степени лазерные диоды. Особое внимание уделено гетероструктурам, так как на сегодняшний день они являются основным материалами, используемым для производства СД для всего диапазона длин волн.

### Полученные результаты, анализ и обсуждение

СД – это полупроводниковый прибор с  $p - n$  – переходом, генерирующий при прохождении через него электрического тока оптическое излучение. На рис. 1 показана типовая конструкция СД.

Надежность светодиодов определяется, во-первых, исходным материалом, во-вторых, технологией изготовления и, в-третьих, конструкцией [1].

Весьма большое влияние на надежность имеет материал металлизации [2-4]. Как показано в [2] качество контактов металл - полупроводник (Me-p/n) определяет работоспособность в условиях непрерывного воздействия гамма-излучения. В [2,3] изложены результаты исследования воздействия гамма-излучения в диапазоне доз  $10^2 - 2 \cdot 10^7$  Гр на контакты Me-p/n, изготовленные на основе сло-

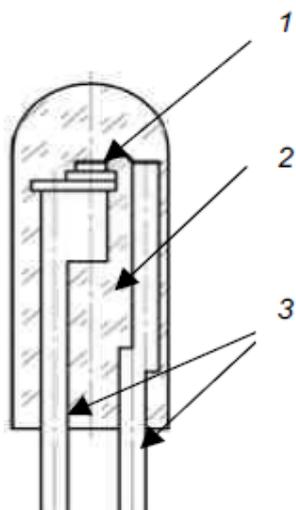


Рис. 1. Конструкция светодиода:  
1 – кристалл, 2 – линза и корпус  
из оптического компаунда,  
3 – выводы питания

стых структур  $Au-ZrB_x-AlGaN-GaN$  и  $Au-TiB_x-Al-Ti-nGaN$ , при этом было выявлено несколько характерных эффектов:

- усиление диффузионной проницаемости слоев золота и борида циркония (радиационно-стимулированная диффузия);
- перераспределение кислорода в структуре контакта при облучении (в данном случае кислород появляется в контакте Me-п/п в процессе его формирования).

Данные эффекты являются следствием развития структуры радиационных повреждений в облученных материалах, обусловленной созданием в них высоких концентраций точечных дефектов.

Под влиянием термической активации точечные дефекты, приобретая высокую подвижность, могут рекомбинировать, поглощаться дислокациями, границами зерен, порами, свободными поверхностями и т.д. При этом чаще всего наблюдается снижение числа избыточных вакансий вследствие стремления структуры к термодинамическому равновесию. В результате радиационно-стимулированных процессов происходит коалесценция вакансий друг с другом в устойчивые комплексы, вплоть до образования пор (рис. 2), а также комплексообразование с атомами примеси.

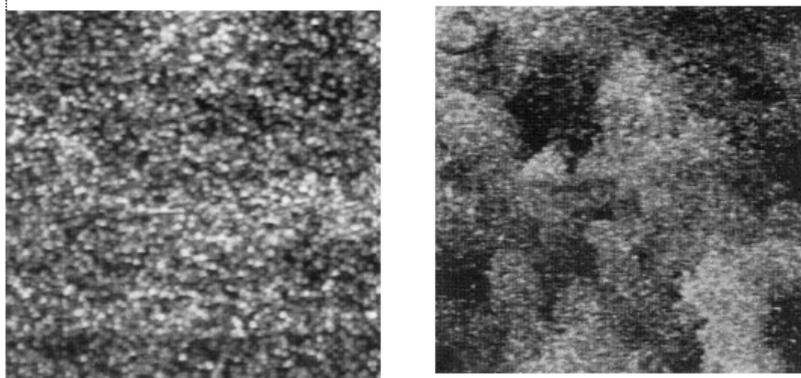


Рис. 2. Морфология поверхности пленки  $Au$  на структуре  $Au-ZrB_x-AlGaN-GaN$ : слева – до облучения и справа – после облучения до дозы  $W = 10^6$  Гр (площадь  $5 \times 5$  мкм) [3]

Под влиянием термической активации точечные дефекты, приобретая высокую подвижность, могут рекомбинировать, поглощаться дислокациями, границами зерен, порами, свободными поверхностями и т.д. При этом чаще всего наблюдается снижение числа избыточных вакансий вследствие стремления структуры к термодинамическому равновесию. В результате радиационно-стимулированных процессов происходит коалесценция вакансий друг с другом в устойчивые комплексы, вплоть до образования пор (рис. 2), а также комплексообразование с атомами примеси.

Таким образом, анализ результатов исследования радиационной стойкости контактов Me-п/п позволяет сделать следующие выводы. Дegradaция электрофизических параметров контактов Me-п/п при воздействии ионизирующего излучения обусловлена, во-первых, перераспределением исходных дефектов, в том числе легирующей примеси, во-вторых, перераспределением атомов металлизации в полупроводнике под действием облучения и формированием новых дефектов.

В [4] представлены результаты исследования влияния высоких температур на различные типы металлизации Me-п/п. При этом было установлено, что наиболее часто наблюдаются следующие виды брака: потеря адгезии металлизации; образование интерметаллических соединений между слоями металлизации; проплавление барьерного слоя; отслоение обкладок металлизации. К сожалению, авторы [4] не рассматривали явление электромиграции (массопереноса) при воздействии высоких температур на металлизацию и сильных локальных электрических полей, что вполне ожидаемо в наблюдаемом случае. На практике достаточно широко используется методика прогнозирования надежности СД, в основе которой лежит определение энергии активации дegradaции по кривым Аррениуса [4-6].

В работах [7-12] рассмотрены результаты исследования надежности СД, а в работах [13-16] – результаты исследования радиационной стойкости СД. В частности в [12], исследовали деградацию СД при длительной наработке и влияние технологии крепления кристалла СД к теплоотводу на эксплуатационные характеристики светодиодов. На рис. 3 показано изменение светового потока в процессе наработки для различных конструкций СД, полученные в данной работе.

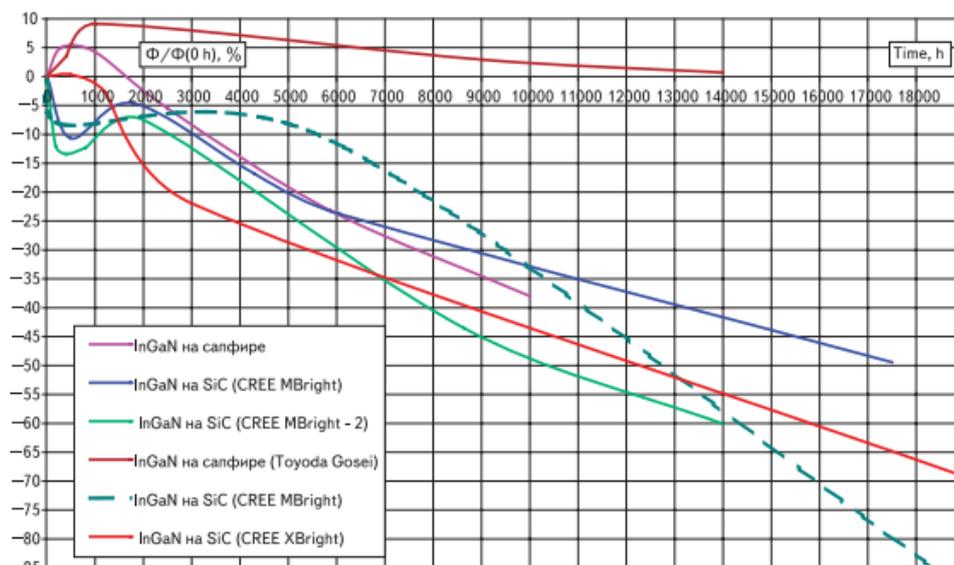


Рис. 3. Дegradационные характеристики светового потока светодиодов синего цвета свечения на основе гетероструктур AlInGaN в составе излучающих кристаллов различных конструкций [12]

Из представленных результатов видно, что длительность наработки существенно образом зависит от технологии изготовления СД (время наработки, в течение которого световой поток падает до предельно допустимого значения, изменяется в 1,5 – 5 раз).

В работе [12] было установлено, что ультразвуковая сборка СД на основе гетероструктур InGaN приводит к деградации светотехнических характеристик (для других приборных структур наблюдаются идентичные результаты). Также было установлено, что операция ультразвуковой разварки выводов влияет не только на степень деградации параметров, но и на изменение структуры активного слоя кристалла, что приводит к изменению распределения плотности светового потока по объему кристалла и/или вида вольт-амперной характеристики. При анализе рис. 3 можно отметить, что по достижении длительности наработки до 20 000 часов (около 2,5 лет) практически у всех кристаллов остается немногим более 30 % светового потока от начального значения. Поэтому нет смысла говорить о 50 000 часах наработки с потерей 30 % светового потока, которое указано в спецификациях большинства производителей.

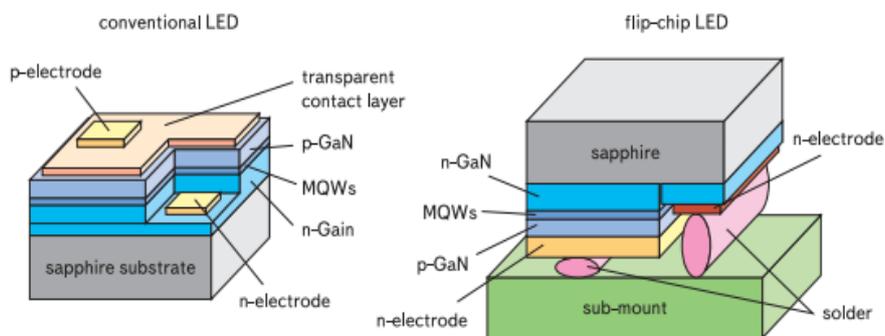


Рис. 4. Сравнительный анализ монтажа кристалла InGaN на подложке Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> традиционным и flip-chip методами [12]

Общий анализ результатов исследования надежности СД позволяет сделать вывод о том, что для кристаллов из различных материалов, для различных конструкций физические механизмы деградации подобны. Обратим внимание на деградационную кривую СД фирмы *Toyoda Gosei* на рис. 3. Данный кристалл смонтирован без применения ультразвуковой приварки проводников к омическим контактам. Здесь применяется технология flip-chip (рис. 4). Использование данной технологии является перспективным в части улучшения показателей надежности СД.

Так как современные СД изготавливаются на основе гетероструктур с наноразмерными активными слоями и наноразмерными квантовыми ямами, то необходимо исследовать влияние размерности активных слоев на показатели надежности СД [6, 9].

Весьма многообещающим выглядит контроль теплового сопротивления *p-n*-переход-корпус [16], что позволяет отбраковывать потенциально ненадежные СД и тем самым повысить их эксплуатационную надежность. Изучение электрических и электролюминесцентных, температурных и временных характеристик СД [17 – 20], также может быть использовано для целей исследования и прогнозирования надежности.

В настоящее время доказана эффективность применения косвенных методов прогнозирования надежности СД, основанных на анализе шумовых характеристик (тепловые и избыточные шумы, а также  $1/f$  – низкочастотный шум) [21]. Как утверждают авторы [22] данный метод оценки надежности применим со всем ПП и дает более объективные результаты по разбраковке приборов по надежности, чем вольт-амперная характеристика.

#### **Заключение**

В данной работе представлен анализ источников литературы по надежности СД. Представленные выше результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Вопросы обеспечения требуемых радиационной стойкости и эксплуатационной надежности во многом имеют общий фундамент, поскольку в обоих случаях введение различных дефектов (различными способами) приводит к подобной деградации приборных характеристик светодиодов.
2. Качество контактов металл - полупроводник во многом определяет надежность светодиодов, также как и многих других полупроводниковых приборов.
3. Расчет энергии активации деградации контакта металл-полупроводник может быть использован для прогнозирования надежности светодиодов.
4. Для повышения надежности исходных гетероструктур необходимо улучшать качество их изготовления, исследовать взаимодействие слоев друг с другом и чувствительность основных приборных характеристик к воздействию внешних факторов в процессе длительной эксплуатации.
5. Основные пути обеспечения требуемой эксплуатационной надежности светодиодов включают в себя: отбор исходных приборных структур, оптимизацию технологии изготовления, оптимизацию конструкции, схмотехнические решения при эксплуатации; применение специальных технологических приемов и оптимизацию рабочих режимов.

Необходимо особо отметить, что современные технологии производства приборных структур и светодиодов на их основе должны учитывать множество факторов, оказывающих влияние не только на качество отдельных производственных операций, но и на то, как впоследствии использованные режимы и условия проведения этих операций скажутся на работоспособности и стабильности параметров произведенных приборов.

#### **Литература**

1. Градобоев А.В., Суржиков А.П. Радиационная стойкость СВЧ приборов на основе арсенида галлия / Томск: Изд-во ТПУ. – 2005. – 277 с.: ил.
2. Куракин А.М. Влияние гамма-радиации на характеристические сопротивления нитридгаллиевых гетероструктурных транзисторов с высокой подвижностью электронов // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29. – Вып. 18. – С. 1 – 5.
3. Беляев А.Е., Болтовцев Н.С., Конакова Р.В. и др. Радиационные повреждения контактных структур с диффузионными барьерами, подвергнутых  $\gamma$ -облучению  $^{60}\text{Co}$  // Физика и техника полупроводников. – 2010. – Т. 44. – Вып. 4. – С. 467 – 475.
4. Черных М.И., Фиронов В.А., Цоцорин А.Н. и др. Оценка надежности различных типов многослойной металлизации при воздействии высоких температур // IV Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – 2014. Режим доступа: <[http://mwelectronics.ru/2014/Poster/2/P02\\_04\\_FironovVA\\_Ocenka\\_nadezhnosti.pdf](http://mwelectronics.ru/2014/Poster/2/P02_04_FironovVA_Ocenka_nadezhnosti.pdf)>.

5. Шмидт Н.М., Усиков А.С., Шабунина Е.И. и др. Исследование деградации внешней квантовой эффективности ультрафиолетовых светодиодов на основе гетероструктур AlGaIn/GaN, выращенных методом хлоридно-гидридной эпитаксии // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40. – Вып. 13. – С. 73 – 80.
6. Петухов А.А., Журтанов Б.Е., Молчанов С.С. и др. Электролюминесцентные характеристики светодиодов среднего ИК-диапазона на основе гетероструктуры InGaAsSb/GaAlAsSb при высоких рабочих температурах // Журнал технической физики. – 2011. – Т. 81. Вып. 4. – С. 91 – 96.
7. Генкин А.М., Генкина В.К., Гермаш Л.П. Влияние длительной работы и температуры на спектры карбид-кремниевых светодиодов, работающих в режиме электрического пробоя // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69. – Вып. 10. – С. 69 – 76.
8. Белоус М.В., Генкин А.М., Генкина В.К. и др. Влияние длительной работы при максимальной токовой нагрузке на характеристики карбид-кремниевых светодиодов, работающих в режиме электрического пробоя // Журнал технической физики. – 1997. – Т. 67. – № 1. – С. 130 – 132.
9. Никифоров С.Г. Проблемы, теория и реальность светодиодов для современных систем отображения информации высшего качества // Компоненты и технологии. – 2005. – № 5.
10. Рожанский И.В., Закгейм Д.А. Анализ причин падения эффективности электролюминесценции светодиодных гетероструктур AlGaInN при большой плотности тока накачки // Физика и техника полупроводников. – 2006. – Т. 40. – Вып. 7. – С. 861 – 867.
11. Соломонов А.В., Тарасов С.А., Менькович Е.А. и др. Исследование характеристик ультрафиолетовых светодиодов на основе гетероструктур GaN/AlGaIn, выращенных методом хлоридно-гидридной эпитаксии // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т. 48., Вып. 2. – С. 259 – 264.
12. Никифоров С.Г. Стабильность параметров и надежность светодиодов закладываются на производстве // Компоненты и технологии. – 2007. – № 5. – С. 59 – 66.
13. Радиационная стойкость гетероструктур AlGaAs для светодиодов ИК-диапазона: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 01.04.07 / Рубанов П.В.; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); науч. рук. А. В. Градобоев. – Томск. – 2012.
14. Градобоев А.В., Рубанов П.В. Деградация светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs при облучении электронами // Известия ВУЗ. Физика. – 2011. – № 1/2. – С. 195 – 197.
15. Градобоев А.В., Скаков М.К., Полицинский Е.В. и др. Стойкость светоизлучающих диодов ИК-диапазона к воздействию импульсного лазерного излучения // Известия ТПУ. – 2010. – Т. 316. – № 2. – С. 125 – 129.
16. Градобоев А.В., Рубанов П.В., Скакова И.М. Деградация светодиодов на основе гетероструктур InGaIn/GaN при облучении гамма-квантами // Известия ВУЗ. Физика. – 2011. – № 1/2. – С. 190 – 194.
17. Мальцев А., Мальцев И. Контроль качества и надежности светодиодов по тепловому сопротивлению р-п-переход-корпус // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 2. – С. 40 – 41.
18. Петухов А.А., Кижаев С.С., Молчанов С.С. Электрические и электролюминесцентные свойства светодиодов  $\lambda = 3,85 - 3,95 \mu\text{m}$  на основе InAsSb в интервале температур 20 – 200 С // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – Вып. 1. – С. 73 – 76.
19. Ковалев А.Н., Маняхин Ф.И., Кудряшов В.Е. и др. Изменения люминесцентных электрических свойств светодиодов из гетероструктур InGaIn/AlGaIn/GaN при длительной работе // Физика и техника полупроводников. – 1999. – Т. 33. – Вып. 9. – С. 224 – 232.
20. Мамакин С.С., Юнович А.Э., Ваттана А.Б. и др. Электрические свойства и спектры люминесценции светодиодов на основе гетеропереходов InGaIn/GaN с модулировано-легированными квантовыми ямами // Физика и техника полупроводников. – 2003. – Т. 37. – Вып. 9. – С. 1131 – 1137.
21. Бочкарева Н.И., Иванов А.М., Клочков А.В. и др. Прыжковый транспорт в области объемного заряда р-п-структур с квантовыми ямами InGaIn/GaN как источник избыточного 1/f шума и потерь эффективности светодиодов // Физика и техника полупроводников. – 2015. – Т. 49. – Вып. 6. – С. 847 – 855.
22. Горлов М.И., Емельянов В.А., Смирнов Д. Возможность отбраковки полупроводниковых приборов по уровню низкочастотного шума // Компоненты и технологии. – 2005. – № 8.

### МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГАЗОВ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ

*А.П. Степанов, ст. преп., Ю.В. Сотокина, инженер, Е.М. Буракова, инженер,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: apsuti@rambler.ru*

При дуговой сварке возникают газовые потоки, оказывающие на качество сварного соединения большое влияние. Возникновение газовых потоков связывают со значительным сжатием дуги у электродов, которое обусловлено радиальными силами собственного магнитного поля. Это сжатие создает большую плотность тока. Электромагнитные силы имеют также некоторую осевую составляющую, направленную в сторону расширения столба. Эти силы вызывают подсосывание окружающего газа к месту сужения, где он разогревается и в виде плазменной струи выталкивается вдоль оси в направлении расширения столба со скоростью  $10^3 - 10^5$  см/сек [1]. Таким образом, предполагается, что внешняя среда нейтральна в отношении собственного магнитного поля дуги и по законам газодинамики засасывается в зону горения дуги.

В работе [2] показано, что движение газовых потоков вызывается динамическим воздействием ионов и электронов на нейтральный газ. При движении заряженных частиц происходит их соударения с молекулами газа, в результате чего происходит ионизация молекул, а также им сообщается определенный импульс движения. Поэтому траектория движения газовых потоков в большой степени определяется закономерностями потока зарядов. Однако в этой работе также не учитывается наличие магнитных свойств молекул газов.

Защитные газы, применяемые при дуговой сварке (Ar, He, N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>), обладают диамагнитными свойствами, т.е. веществами, усиливающими внешнее магнитное поле. Кислород обладает парамагнитным свойством, т.е. ослабляет внешнее магнитное поле. Диамагнетики и парамагнетики проявляют разное поведение в магнитном поле дуги (рис. 1). Для парамагнитных молекул магнитный момент  $P_m$  направлен по полю, для диамагнитного – против. Поэтому парамагнитные вещества будут втягиваться в область, где магнитное поле сильнее, а диамагнитный в область, где поле слабее. Учитывая физические свойства газов, попадающих в сферу действия магнитного поля токопроводящего канала, а также учитывая ионизацию газов в результате столкновений и влияния температуры, можно выявить кинетику движения газовых потоков.

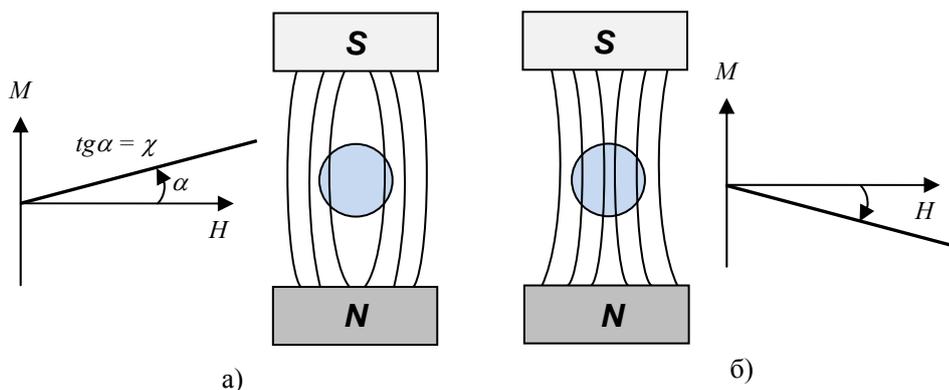


Рис. 1 Поведение веществ в магнитном поле:  
а) парамагнетики; б) диамагнетики

Из таблицы 1 видно, что большинство газов, применяемые при сварке, за исключением кислорода, обладают малой магнитной восприимчивостью [3].

Токопроводящий канал плазменного столба дуги [4] создает магнитное поле, градиент которого возрастает к его оси. Это приводит к возникновению электродинамических сил, действующих на молекулы газа. Токопроводящий канал имеет небольшой диаметр, поэтому его можно рассматривать как длинный провод, по которому течет основной ток дуги (до 90%). Индукция магнитного поля провода с током определяется согласно закону Био-Савара-Лапласа, причем линии представляют собой окружности с центром на оси электрода (рис. 2).

Электродинамическая сила, действующая на молекулы газа со стороны магнитного поля канала дуги, согласно работе [5], определяется уравнением

$$F_r = V_m \chi H \frac{dB}{dr}, \quad (1)$$

где  $V_m$  – объем молекулы;  $\chi$  – магнитная восприимчивость;  $B$  – индукция магнитного поля;  $H$  – напряженность магнитного поля. С учетом закона Био-Савара-Лапласа это уравнение принимает вид

$$F_r = V_m \chi \mu_0 \frac{I^2}{4\pi^2 r^3}. \quad (2)$$

Таблица 1

Газ	Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^6$	$\frac{\chi}{\chi_{O_2}}$
Кислород	+107,8	1
Кислород жидкий	+259,6	2,32
Двуокись азота	+3,80	0,038
Закись азота	-0,428	-0,0043
Гелий	-0,47	-0,0044
Водород	-1,99	-0,0184
Азот	-0,43	-0,0043
Углекислый газ	-0,525	-0,0053
Аргон	-0,490	-0,0045

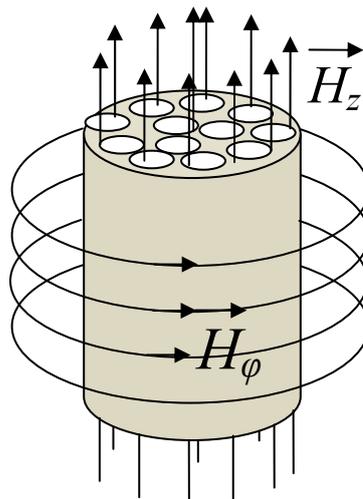


Рис. 2. Магнитное поле токопроводящего канала

Из этой формулы следует, что в диапазоне сварочных токов от 200 до 800 А действие сил магнитного поля на молекулы кислорода проявляется на расстоянии 40 – 100 мм. Под действием этой силы молекулы кислорода будут притягиваться к токопроводящему каналу плазменного столба дуги. Вблизи электрода происходит сильное сжатие плазмы, т.е. возникает большая плотность тока, поэтому на молекулы кислорода согласно формуле (2) будет действовать и большая сила. Это приводит к эффекту засасывания газа у электрода.

По мере приближению к центру столба дуги возрастает температура и плотность частиц в плазме столба, значит, будет более высокой вероятность столкновений молекул кислорода с другими молекулами и заряженными частицами плазмы столба дуги. При этом будет происходить частичная или полная ионизация молекул кислорода. В этом случае на ионизированные молекулы кислорода со стороны магнитного поля токопроводящего канала будет действовать сила Лоренца (рис. 3), которая приведет к возникновению потоков газа вдоль столба дуги. Этим объясняется возникновение "конвективных" потоков газа.

По мере приближения к центру столба дуги будет возрастать динамическое воздействие ионов и электронов токопроводящего канала на ионизированный газ. Заряженные частицы токопроводяще-

го канала находятся в вихревом движении [4], поэтому в результате столкновений ионизированный газ будет обладать и вращательной компонентой скорости.

Таким образом, в результате засасывания кислорода из окружающей среды будет происходить интенсивное смешивание наружных слоев защитного газа. Это связано с тем, что парамагнитные молекулы кислорода, обладающие химической активностью, будут в виде вихревого потока пронизывать внешний защитный газовый поток, достигать зоны плавления и оказывать влияние на качество сварного соединения. В тоже время диамагнитные свойства защитных газов ( $Ar$ ,  $He$ ,  $H_2$  и  $CO_2$ ) будут приводить к выталкиванию их магнитным полем токопроводящего канала, создавая противоположно направленные потоки защитного газа. Основным фактором, влияющим на поведение газов в столбе дуги, являются магнитные свойства газов. Поэтому при анализе потоков газов в плазменном столбе варочной дуги их необходимо учитывать.

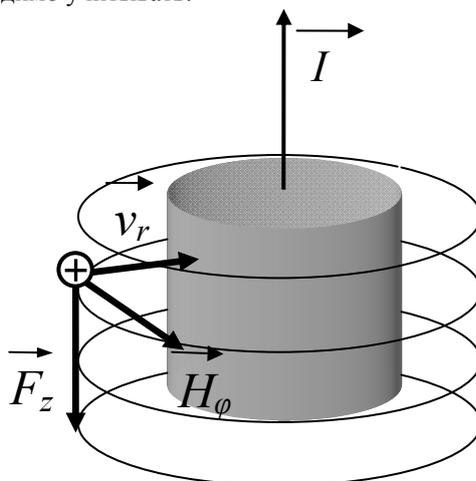


Рис. 3. Сила Лоренца, действующая на ион кислорода в поперечном магнитном поле дуги

#### Литература.

1. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма: Перевод с нем. под ред. В.А. Фабриканта. – М.: ИЛ, 1961.
2. Лесков Г.И., Погодин-Алексеев Г.И. «Термическая теория электрической дуги»// Автоматическая сварка. 1958, №5.
3. Агейкин Д.И. Магнитные газоанализаторы. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 423 с.
4. Немова Т.Н., Степанов А.П. «Вихревой механизм возбуждения электрической дуги»// Известия вузов, «Физика». 2007. т. 50, № 9/2. С. 141-144.
5. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики: Учебник. В 3-х тт. Т.2. Электрические и электромагнитные явления. – СПб.: Издательство «Лань», 2006.- 528 с.

## **СЕКЦИЯ 2: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

### **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СВАРОЧНОГО АЭРОЗОЛЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

*Ю.С. Александрова, ст. гр. 10А42, Л.Г. Деменкова, ст. преп.,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62  
E-mail: lar-dem@mail.ru*

Сварка является одним из ведущих технологических процессов обработки металлов. Сварка широко применяется в основных отраслях производства, потребляющих металлопрокат, т.к. резко сокращается расход металла, сроки выполнения работ и трудоёмкость производственных процессов. Выпуск сварных конструкций и уровень механизации сварных процессов постоянно повышается. Успехи в области автоматизации сварочных процессов позволили коренным образом изменить технологию изготовления важных хозяйственных объектов, таких как доменные печи, турбины, химическое оборудование.

Проведение сварочных работ невозможно без загрязнения воздушной среды рабочего пространства парами сварочного аэрозоля (СА). В его состав входят газы и оксиды различных металлов, оказывающие пагубное воздействие на окружающую среду и человеческий организм.

Воздушная среда производственных помещений загрязняется сварочным дымом. Этот дым представляет собой свободно парящие в воздухе мелкие частицы сварочных аэрозолей. Химический состав сварочных аэрозолей различный и зависит от технологии сварки, сварочных материалов и режима сварки.

По характеру образования СА относится к аэрозолям конденсации и представляет собой дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются мелкие частицы твёрдых веществ – твёрдая составляющая сварочного аэрозоля (ТССА), а дисперсионной средой – смесь газов, газовая составляющая сварочного аэрозоля (ГССА).

СА получается главным образом вследствие испарения материалов электрода (покрытия и стержня) в зоне дугового разряда [2]. Образующийся пар под воздействием давления дуги и плазменных потоков перемещается в окружающее пространство с более низкой температурой и конденсируется. Существует два механизма образования СА [3]. По первому механизму компоненты электродного и основного металлов плавятся и испаряются, а получившиеся пары конденсируются на выходе их из высокотемпературной зоны столба дуги и окисляются. Второй механизм заключается в образовании под действием кислорода летучих оксидов на поверхности расплавленного электрода (например, SiO). В зависимости способа сварки и состава защитных газов изменяется доля участия каждого из вышеприведённых механизмов.

В ходе исследований ТССА методами ультрацентрифугирования, гравитационного осаждения и электроннозондового рентгеноструктурного микроанализа установлено, что примерно 85 % частиц представляют собой агрегаты в виде цепочек и кластеров размером 0,1 – 1 мкм, образовавшиеся в результате коагуляции частиц нанометрового размера (0,005 – 0,05 мкм) под действием электростатических и адсорбционных сил; а подавляющая часть массы ТССА составляют частицы сферической формы размером от 1 до 8 мкм, количество которых не превышает 15 % от общего числа исследованных частиц [2]. В работе [3] приведены результаты изучения строения частиц ТССА. Выявлено, что большинство мелких частиц состоит из ядра и оболочки, размеры которой зависят от ряда факторов, в т.ч. от температуры и окислительного потенциала атмосферы дуги, а также увеличиваются с повышением количества калия и натрия в покрытии электрода. В ядре содержится большая часть железа и марганца, а в оболочке находятся соединения калия, кремния и натрия. Кроме того, полученные данные позволяют установить взаимосвязь фракционного и химического составов ТССА: мелкодисперсная фракция обогащена легкокипящими элементами (кальций, калий, алюминий, магний, натрий) и содержит относительно небольшое количество железа высокой степени окисления; крупные же частицы содержат главным образом оксиды железа и токсичные легирующие добавки (марганец, хром, ванадий), входящие в состав электродов [4].

В состав ТССА, образующейся при сварке покрытыми электродами, входят основные (Mn, Fe, Si, K, Na, Ca, Mg, Ti, Al, Cr, Ni, F) и примесные (As, Cu, Rb, Sn, Zr, Sr, Nb, Mo, Ag, Sb, Ba, Pb) элементы. Результаты атомно-эмиссионного спектрального анализа, проведённого нами при помощи

НАЦ ТПУ, позволяют установить наличие следующих основных компонентов ТССА, полученного при сварке горношахтного оборудования: алюминий (1789,6 мг/кг), кальций (2914,3 мг/кг), хром (4511,3 мг/кг), железо (782758,6 мг/кг), марганец (14891,6 мг/кг), натрий (4350,2 мг/кг), кремний (4122,7 мг/кг). При обследовании рабочих мест сварщиков установлено, что среднесменное содержание пыли в воздухе рабочей зоны составляет от 11,93 до 23,25 мг/м<sup>3</sup> при ПДК 6 мг/м<sup>3</sup> при проведении сварочных работ, от 2,94 до 4,64 мг/м<sup>3</sup> при газовой резке и наплавке. При этом среднесменная концентрация  $\text{CrO}_3$  составила  $0,005 \pm 0,001$  мг/м<sup>3</sup> (ПДК 0,03 мг/м<sup>3</sup>), никеля –  $0,087 \pm 0,020$  мг/м<sup>3</sup> (0,05 мг/м<sup>3</sup>), марганца  $3,66 \pm 0,73$  мг/м<sup>3</sup> (0,6 мг/м<sup>3</sup>). Полученные результаты свидетельствуют о значительном превышении содержания вредных веществ.

ГССА также имеет очень сложный состав. Под воздействием высоких температур и инфракрасного излучения происходит интенсивное испарение компонентов покрытия электрода, флюсов, которые окисляются и конденсируются за пределами сварочной дуги. Кроме того, происходят термохимические превращения фторидов и кремнефторидов, восстановление углекислого газа, неполное окисление органических связующих обмазок и пластификаторов с образованием HF, SiF<sub>4</sub>, CO; атмосферный азот окисляется с образованием NO, кислород воздуха превращается в озон. При сварке или резке окрашенных либо загрязнённых деталей или конструкций в газовую фазу могут выделяться хлороводород (HCl), хлор (Cl<sub>2</sub>), фосген (COCl<sub>2</sub>), оксиды серы (SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>) и другие токсичные соединения [3]. Установлено [4, 5], что при механизированной сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения основными компонентами ГССА являются монооксид углерода и оксиды азота. В работе [6] рассмотрено образование биологически активных веществ в плазме дуги при сварке в смесях защитных газов на основе аргона и углекислого газа в характерном для зоны сварки интервале температур от 298 до 6000 К. Установлено, что в высокотемпературной зоне проходят сложные плазмохимические реакции диссоциации молекул азота, кислорода, диоксида углерода, водяных паров до свободных атомов и ионов, которые попадают в зону дыхания сварщика вследствие диффузии и переноса потоками плазмы или воздуха. Особенностью атомарных газов и образующихся веществ (NO, NO<sub>2</sub>, CO, CN, CH и др.) является их высокая биологическая активность, проявляющаяся в отравляющем воздействии на живые организмы [1]. В связи с высокой токсичностью сварочного аэрозоля профилактика и устранение его вредного влияния на работающего представляют собой актуальную задачу. Современные условия требуют научной оценки комбинированного действия ТССА и ГССА, т.к. установлено, что при прочих равных условиях увеличение концентрации твёрдых частиц в сварочном аэрозоле приводит к усилению биологического действия газов [4], а O<sub>3</sub> и NO<sub>2</sub>, HF и SiF<sub>4</sub> взаимно усиливают токсические эффекты [5]. Одним из наиболее опасных веществ в составе ГССА является фтористый водород [6], который выделяется при сварке горношахтного оборудования с использованием электродов марки УОНИ-13/55 и МР-3. Установлено [1], что при проведении аттестации рабочих мест и производственного контроля опасных вредных веществ сварочного аэрозоля не всегда отбираются пробы ГССА, что представляется совершенно недопустимым.

Широко применяемый в сварочном производстве способ защиты сварочной ванны с помощью однокомпонентных газов (двуокись углерода или аргон) со временем не стал удовлетворять требованиям качества и производительности. Дальнейшим этапом повышения эффективности сварки при изготовлении сварных металлоконструкций стало применение многокомпонентных газовых смесей на основе аргона. Изменяя состав газовой смеси можно в определенных пределах можно изменять свойства металла шва и сварного соединения в целом. Преимущества процесса сварки в газовых смесях на основе аргона проявляется в том, что возможен струйный и управляемый процесс переноса электродного металла. Эти изменения сварочной дуги - эффективный способ управления ее технологическими характеристиками: производительности, величиной потерь электродного металла на разбрызгивание, формой и механическими свойствами металла шва, а также величиной проплавления основного металла.

Как известно, уровни выделений и химический состав сварочного аэрозоля (СА) при сварке покрытыми электродами определяются рядом факторов: содержанием в шлаковом расплаве, образующемся в результате плавления покрытия на торце электрода, химических элементов или соединений с высокой упругостью пара (марганца, щелочных металлов, фтористых соединений и др.); окислительным потенциалом атмосферы дуги; диаметром электрода и режимом сварки (род и величина сварочного тока, напряжение дуги); характеристикой основности (кислотности) шлака, от которой зависит интенсивность испарения отдельных его составляющих компонентов. Последнее влияет на

интенсивность поступления в СА соединений щелочных и щелочно-земельных металлов. Для уменьшения уровня выделений СА необходимо увеличивать кислотность шлака, повышая в нем содержание структурообразующих анионов кремния, титана и алюминия, снижающих интенсивность испарения калия, натрия, магния и кальция и уменьшая содержание карбонатов магния, магнезита, целлюлозы и т.п., а также алюмосиликатов калия и натрия (жидкое стекло, слюда, полевой шпат).

Часть СА, образующаяся из металлического расплава, может вступать в химическое взаимодействие с выделяющимся из шлака аэрозолям, образуя соли, силикаты, шпинели и сложные соединения оксидов, в результате чего токсичность компонентов СА может усиливаться или ослабляться. Опасным последствием такого взаимодействия между металлическим и шлаковым аэрозолям является появление в СА (преимущественно при сварке коррозионностойких сталей) больших количеств высокотоксичных соединений хрома и никеля с канцерогенными свойствами. Хром в составе СА присутствует в виде двух разных по токсичности соединений: в виде хроматов и бихроматов натрия и калия, образующихся в результате взаимодействия хрома, присутствующего в стержне электродов и в электродном покрытии, с оксидами натрия и калия, которые вводят в покрытие электродов в качестве связующего материала (жидкого стекла), и в виде  $Cr_2O_3$ . В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88, шестивалентный хром относится к первому, а трехвалентный – к третьему классу опасности. То есть при сварке электродами хромоникелевых легированных сталей определяющим токсичным компонентом СА являются соединения шестивалентного хрома. Таким образом, для снижения канцерогенной опасности сварочных электродов необходимо уменьшать содержание щелочных металлов в составе шлаковой основы. Установлено [1], что наиболее благоприятными в гигиеническом отношении являются электроды с покрытием рутилового вида, разработанные в свое время для замены руднокислых электродов. А вот для электродов с целлюлозным покрытием характерны наибольшие выделения аэрозоля. Высокий уровень СА в данном случае обусловлен большим количеством выделяемых газов:  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ .

Рассмотренные закономерности позволяют уменьшить отрицательное влияние сварочных аэрозолей на экологическую безопасность путём правильного выбора электродов для ручной дуговой сварки.

В настоящее время согласно требованиям защиты окружающей среды от промышленных выбросов, в том числе и от СА, к средствам вентиляции предъявляются не только гигиенические требования по защите органов дыхания, но и экологические, заключающиеся в необходимости защиты атмосферного воздуха от этих выбросов. Это существенно затрудняет создание соответствующих средств защиты, поскольку для этого необходимы специальные фильтрующие материалы, предназначенные для улавливания всех токсичных веществ, содержащихся в сварочном аэрозоле (СА), в том числе и газообразных ( $HF$ ,  $SiF_4$ ,  $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ). Очистка воздуха от твёрдой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА) осуществляется относительно легко: для этого применяют механическую фильтрацию загрязнённого воздуха через тканевые, бумажные, зернистые или электростатические фильтры. Для очистки воздуха от газообразной составляющей сварочного аэрозоля (ГССА) необходимо применять химические фильтры, причем предназначенные либо для избирательного улавливания определенных газов, либо комбинированные для нейтрализации всех компонентов ГССА. При создании последних имеются определенные сложности, обусловленные совмещением в одном фильтре различных методов нейтрализации вредных газов (сорбционного улавливания фтористых газов и оксидов азота, низкотемпературного каталитического окисления монооксида углерода и разложение озона) [1, 2]. Стоимость таких фильтров довольно высокая, а их срок службы не большой, поэтому применять их не всегда целесообразно.

Что касается существующих средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), то применяемые в них по соответствующей классификации фильтры марок А, В, Г, Е, КД, СО, М и БФК предназначены для улавливания определенных газов [3] и не могут использоваться для нейтрализации ГССА.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что для указанных способов сварки можно выделить 6 классов СА в зависимости от наличия в их составе токсичных компонентов ГССА, на которые необходимо ориентироваться при выборе соответствующих методов и средств защиты сварщиков и окружающей среды.

Таблица 1

Характеристика классов СА и методы их нейтрализации [2]

Номер класса СА	Название класса СА	Способы сварки	Методы нейтрализации СА
1	Бесфтористый	Ручная дуговая покрытыми электродами (кроме электродов с основным покрытием)	Механическая или электростатическая фильтрация воздуха от ТССА
2	Фтористый	Ручная дуговая электродами с основным покрытием; порошковой проволокой; под флюсом	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; сорбционно-фильтрующая нейтрализация HF и SiF <sub>4</sub>
3	Оксидоуглеродный	Дуговая плавящимся электродом в активных газах (CO <sub>2</sub> ); газовая сварка	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; низкотемпературное каталитическое окисление CO до CO <sub>2</sub> или сорбционно-фильтрующая нейтрализация CO
4	Озоновый	Дуговая плавящимся электродом в инертных газах; дуговая вольфрамовым электродом в инертных газах; плазменная сварка	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; низкотемпературное каталитическое разложение O <sub>3</sub>
5	Фтористо-оксидоуглеродный	Дуговая порошковой проволокой в активном газе (CO <sub>2</sub> )	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; сорбционно-фильтрующая нейтрализация HF и SiF <sub>4</sub> ; низкотемпературное каталитическое окисление CO до CO <sub>2</sub> или сорбционно-фильтрующая нейтрализация CO;
6	Фтористо-озоновый	Дуговая порошковой проволокой в инертных газах	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; сорбционно-фильтрующая нейтрализация HF и SiF <sub>4</sub> ; низкотемпературное каталитическое разложение O <sub>3</sub>

Для СА первого класса характерно наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ в составе ТССА и незначительного количества оксидов азота и монооксида углерода, как правило, не превышающего ПДК [2]. Аэрозоли этого класса образуются при ручной дуговой сварке электродами с покрытием рутилового, кислого и окислительного типов, которые условно можно назвать бесфтористыми. При их применении необходима защита человека и окружающей среды в основном только от ТССА.

СА второго класса образуются при сварке электродами с покрытием основного (фтористо-кальциевого) типа, порошковыми проволоками и под флюсами. Кроме ТССА в их состав входят газообразные фтористый водород и тетрафтористый кремний [2]. Именно эти газы и определяют токсичность СА, а также связанные с этим проблемы их нейтрализации средствами защиты окружающей среды, поскольку требуются дополнительные меры защиты от газообразных фторидов. Концентрации оксидов азота и монооксида углерода в воздухе рабочей зоны при использовании этих сварочных материалов, как правило, ниже ПДК [3]. Аэрозоли и сварочные материалы этого класса по наличию характерных вредных веществ можно назвать фтористыми.

Аэрозоли третьего класса образуются при дуговой сварке плавящимся электродом в активных газах (углекислом газе и смесях с ним), а также при газовой сварке, для которой характерно появление в СА, кроме ТССА, повышенного количества монооксида углерода (угарный газ), воздействие которого на организм человека может привести к отравлению. Содержание оксидов азота и озона в воздухе чаще всего в норме [4]. В связи с этим возникают дополнительные проблемы, связанные с

защитой сварщика и атмосферы в основном от монооксида углерода. Аэрозоли этого класса можно назвать оксидоуглеродными.

Для СА четвертого класса характерно наличие в них высокого количества озона и относительно небольшого количества ТССА, оксидов азота и монооксида углерода [1]. Токсичность таких СА определяется озоном, образование которого характерно для дуговой сварки в аргоне плавящимся и неплавящимся электродами [1]. Озонсодержащие СА также образуются при плазменной сварке [3]. Для защиты от озоновых СА требуются особые меры, заключающиеся в разложении вредного озона.

Пятый класс СА представляет собой комбинацию второго и третьего. Такие СА образуются при сварке порошковой проволокой в углекислом газе и содержат в своем составе газообразные фториды, монооксид углерода и оксиды азота. Как правило, оксиды азота и озон образуются в количествах на порядок или два меньших, чем монооксид углерода [4]. Для защиты органов дыхания и атмосферы от фтористо-оксидоуглеродных СА требуются особые меры, а именно комбинированная очистка от фтористых газов и монооксида углерода.

СА шестого класса, содержащиеся в больших количествах ТССА, газообразные фториды и озон, а также небольшие количества оксидов азота и монооксид углерода, встречаются очень редко: при сварке порошковой проволокой в аргоне. Для защиты работающих и окружающей среды от фтористо-озоновых СА требуется комбинация различных методов.

Следует также учитывать, что практически все способы сварки сопровождаются образованием незначительного по сравнению с другими составляющими СА количествами оксидов азота. Поэтому в вентиляционных системах очистки воздуха с рециркуляцией (с возвратом очищенного воздуха обратно в помещение) и в ФВА необходимо предусмотреть очистку и от оксидов азота, что позволит избежать их накопление в помещении без общеобменной вентиляции. Вместе с тем, неправильный выбор ФВА может привести к тому, что одни газы будут нейтрализованы, а другие в результате рециркуляции будут накапливаться в производственном помещении. Это может привести не к улучшению, а к ухудшению условий труда, что нередко и происходит на предприятиях, которые приобретают ФВА не по назначению. Причиной тому бывает отсутствие информации о составе СА в зависимости от применяемого способа сварки.

Предложенная классификация СА (см. табл. 2) позволяет присвоить каждому способу сварки конкретное название по характерному для него составу СА и легко выбрать соответствующий метод нейтрализации вредных веществ СА. Так, для очистки воздуха от СА, образующегося при применении бесфтористых электродов, требуется всего лишь механическая или электростатическая его фильтрация только от ТССА. При сварке сварочными материалами, содержащими фториды, кроме фильтрации в средствах защиты необходимо применять метод сорбционно-фильтрующей нейтрализации фтористого водорода и тетрафтористого кремния на второй ступени специального химического фильтра. При дуговой сварке в углекислом газе и газовой сварке также требуется двухступенчатая очистка воздуха: на первой ступени – от ТССА и на второй – от токсичного монооксида углерода путем его низкотемпературного окисления с помощью специального катализатора до безвредного диоксида углерода (углекислого газа) [1]. Для аргонодуговых и плазменных способов сварки нужно применять двухступенчатые фильтры, очищающие воздух от ТССА и от озона путем его низкотемпературного разложения катализатором до кислорода [2].

Указанные способы сварки широко применяются в промышленности, чем и объясняется основная потребность в средствах защиты от СА первых четырех классов (см. табл. 2). Сварка порошковой проволокой в углекислом газе встречается не часто, а в аргоне вовсе редко. Методы нейтрализации образующихся при этих способах СА довольно сложные. Они требуют применения трехступенчатых фильтров, улавливающих ТССА, фтористые газы и монооксид углерода при применении углекислого газа, и аналогичных фильтров для нейтрализации ТССА, фтористых газов и озона в случае сварки в аргоне. В предлагаемой классификации учитываются и эти особенности.

Таким образом, по наличию характерных вредных веществ в СА, которые необходимо нейтрализовать, основные способы сварки можно разделить на следующие шесть типичных классов: бесфтористые, фтористые, оксидоуглеродные, озоновые, фтористо-оксидоуглеродные и фтористо-озоновые [3].

Отметим, что до настоящего времени решены только отдельные задачи по применению соответствующих конкретным способам сварки адекватных средств нейтрализации СА, поскольку возможности создания этих средств защиты не всегда соответствуют требованиям конкретных сварочных технологий. Большинство ФВА и СИЗОД отечественного и зарубежного производства очищают воздух только от ТССА т.е. применимы только для бесфтористых СА. Имеются также ФВА типа «Мрія» и фильтрующие респираторы для сварщиков «Снежок ГП-В», предназначенные для нейтрализации фтористых СА, а также респираторы «Снежок ГП-Озон» для улавливания озоновых аэро-

золей. Известны универсальные ФВА фирмы «Экоюрис-Венто» с комбинированным фильтром для улавливания всего комплекса газов СА (HF, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>), которые не имеют конкретного назначения и их использование для определенных способов сварки не всегда экономически целесообразно. В ФВА известных фирм «PlymoVent», «Nederman», «Kempeg» и др., насколько известно из рекламных проспектов, для улавливания газов используют угольные фильтры также универсального назначения. Фильтрующие материалы зарубежных фирм, применяемые в СИЗОД, в частности в защитной маске с поддувом очищенного воздуха, предназначены для нейтрализации органических, неорганических газов, хлоридов, аммиака и т.д., из чего следует, что они непригодны для типичных составов СА.

Таким образом, можно сделать вывод, что в сварочном производстве имеется острая потребность в ФВА и СИЗОД со специальными фильтрами для улавливания СА, разработка которых должна основываться на предлагаемой классификации. Главная задача заключается в разработке новых видов двухступенчатых фильтров, в которых вторая ступень предназначена для фтористых, оксидоуглеродных или озоновых СА. В свою очередь, комбинирование этих фильтрующих элементов позволит также получить фильтры для фтористо-оксидоуглеродных и фтористо-озоновых СА. Разработанные на этой основе новые виды средств защиты сварщиков и окружающей среды позволят повысить их эффективность и снизить стоимость за счет избирательного механизма улавливания конкретных вредных веществ, получить полный гигиенический и экологический эффекты за счет нейтрализации всего комплекса вредных веществ в составе ТССА и ГССА.

#### Литература.

1. Ерёмин Л.П., Деменкова Л.Г., Гришагин В.М. К вопросу о создании модели образования сварочного аэрозоля при сварке горношахтного оборудования // Горное машиностроение: Сборник материалов. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2011. – № 0В2. – М.: «Горная книга». – С. 276-285.
2. Гришагин В.М., Ерёмин Л.П., Деменкова Л.Г. Методы исследования сварочного аэрозоля, образующегося при сварке горно-шахтного оборудования // Безопасность труда в промышленности, 2011, № 6. – С. 53-56.
3. Гришагин В.М., Деменкова Л.Г. Моделирование процесса образования сварочного аэрозоля горно-шахтного оборудования / Сварочное производство, 2011, № 8(921) – С.8 – 12.
4. Л.П. Ерёмин, В.М. Гришагин, Л.Г. Деменкова К вопросу об исследовании выделения сварочного аэрозоля при сварке горношахтного оборудования/ Энергетика: экология, надёжность, безопасность: Материалы шестнадцатой Всероссийской научно-технической конференции. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – С.187 –188.
5. Супрун С.А. Санитарно-гигиенические показатели процесса сварки и их отражение в структуре потребления сварочных материалов / С.А. Супрун, Л.Н. Горбань, В.И. Супрун // Труды 1-й Международной научно-практической конференции «Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в сварочном производстве»: Сб. докл. – Одесса: Астропринт, 2012.
6. Походня И.К. Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами / И.К. Походня, И.Р. Явдошин, А.П. Пальцевич, В.И. Швачко, А.С. Котельчук. – Киев: Наукова думка, 2004.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОВЫХ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК И ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЗНЫХ РАЙОНАХ ГОРОДА КИСЕЛЕВСКА**

*Т.Г. Апасова, студентка 4 курса,  
научный руководитель: Алукер Н.Л., к.ф.-м.н., доцент,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово  
650043, г. Кемерово, Васильева, 20Б, тел. 8-952-169-13-97  
E-mail: tanuha-apasova@mail.ru*

Целью данного исследования является проведение радиоэкологического мониторинга на территории города Киселевска и оценка атмосферного загрязнения города по состоянию снежного покрова.

Для определения дозовых нагрузок в режиме территориального мониторинга применялся метод термолюминесцентной (ТЛ) дозиметрии с использованием для контроля индивидуальных дозиметров (дозиметрических кассет ДТГ с двумя термолюминесцентными детекторами ТЛД-К). Этот метод позволяет регистрировать различные виды излучения в широком диапазоне. Измерение проводилось с помощью дозиметрического комплекса ДТУ-01М. Комплекс предназначен для считывания люминесцентного сигнала при нагреве предварительно облученного за счет фонового облучения

термолюминесцентного детектора. Максимум пика люминесценции путем градуировки комплекса устанавливается пропорциональным дозе облучения.

Экспериментальные результаты по дозиметрии показали (рис. 1), что более высокие дозы радиации в городе Киселевске определены в районах Калзагай, Карагайла и терриконника, минимальные дозовые значения получены в районе Маяковка, удаленном от промышленных зон и шахт, разрезом и отвалов. Данные в виде гистограммы представлены на рис. 1.

В тех же районах где проводился дозиметрический контроль в соответствии с требованиями к отбору проб [1], был проведен отбор проб снега. Кроме этого были отобраны пробы из разных водных источников (колодец глубина 3.5 м, озеро «Золотой ключ» район шахты №12).

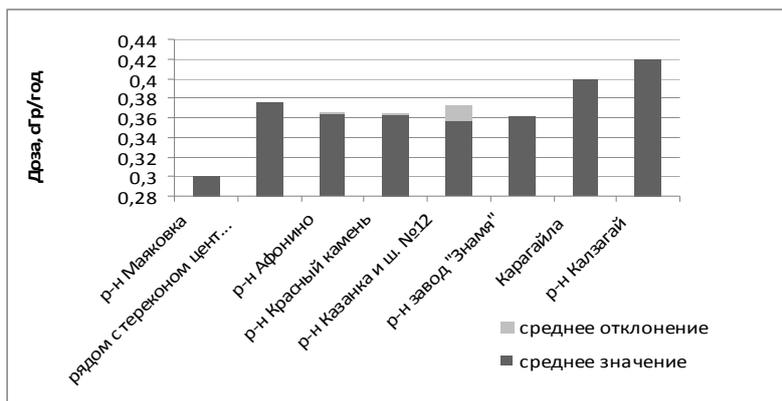


Рис. 1. Среднее значение и отклонение рассчитанных годовых доз по выборкам с разных территорий города

Для измерения проб воды и талого снега использовали спектрофотометрию. Измерения проводились с помощью спектрофотометра «SHIMADZU UV-1700» в диапазоне длин волн 190-1100 нм. Метод исследования основан на использовании явления поглощения электромагнитного излучения атомами или молекулами определенного вещества и используется для обнаружения загрязнения воды как органическими соединениями так и неорганическими примесями минеральных элементов с концентрацией  $10^{-2} - 10^{-6}$  мол/л [2].

Экспериментальные данные по талому снегу показали, что наиболее сильное загрязнение снега взвешенными частицами (высокие значения длинноволнового поглощения (рассеивания)) наблюдается в районе Карагайлы и терриконика (рис. 2). Это может определять более высокие значения поглощенных доз в этих районах. Наиболее незагрязненным взвешенными частицами оказался снег вблизи базы хранения шахтного оборудования горючих, смесей и масел и завода «Знамя» (производство и хранения ВВ).

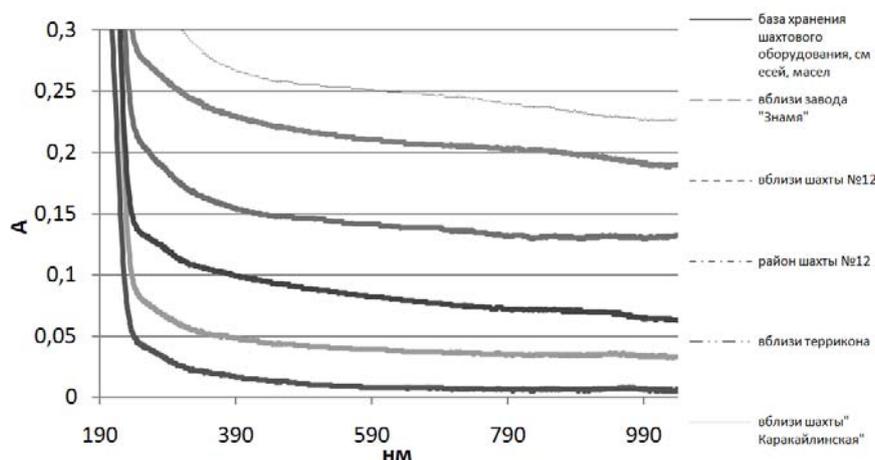


Рис. 2. Зарегистрированные во всем исследованном диапазоне длин волн спектры поглощения проб талого снега

Коротковолновые спектры поглощения, с вычетом фона длинноволнового поглощения (рассеивания) за счет взвешенных частиц, показаны на рис. 3.

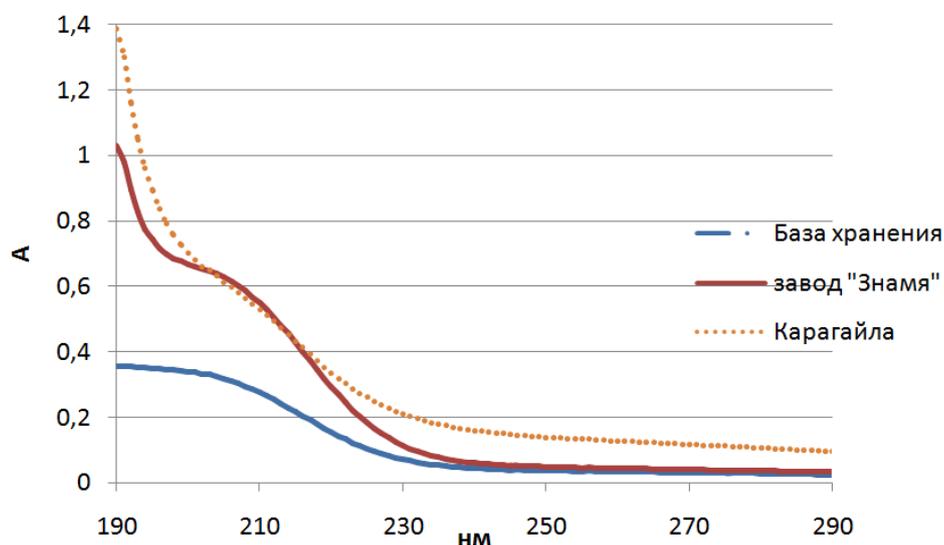


Рис. 3. Коротковолновый участок спектров поглощения проб

В коротковолновом диапазоне может проявляться поглощение, связанное с присутствием растворимых азотсодержащих соединений. Наибольшее поглощение и в УФ области наблюдается для проб, отобранных в районе Карагайла. Значительное поглощение в области 200-210 нм отмечено для проб снега, отобранных вблизи завода «Знамя». Поглощение в этой области наблюдается и для остальных проб и может быть связано с содержанием в пробах нитрат (200 нм) и нитрит (210 нм) ионов. Исходя из зарегистрированной оптической плотности при 210 нм (0,5) (завод Знамя) и приняв в качестве коэффициента молярной экстинкции для нитрит иона величину 5100 л/(М\*см) [2] концентрация нитрит иона в пробе составляет 4,5 мг/л, что в полтора раза выше уровня ПДК для нитрит иона (3 мг/л) [3]. Соединения азота присутствуют во всех штатных ВВ, изготовлением которых занимается завод.

На рис. 4 приведены спектры поглощения вод, отобранных в районе шахты из подземного (колодец) и поверхностного (озеро «Золотой ключ») источников. Для сравнения приведен спектр талого снега, который, видимо, обеспечивает поступление азотсодержащих соединений в поверхностные и подземные воды.

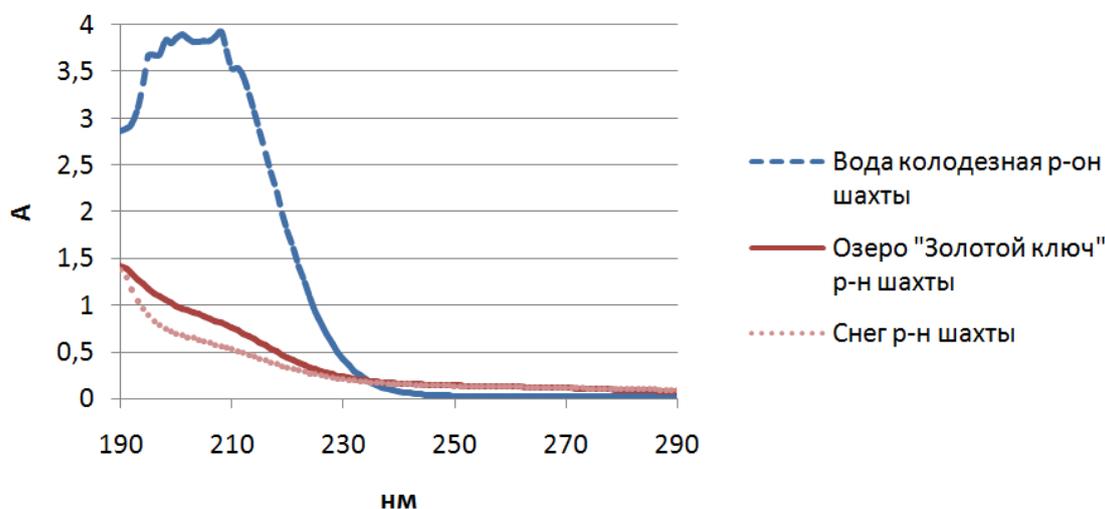


Рис. 4. Коротковолновый участок спектров поглощения проб воды и талого снега

В результате проведенной работы можно сделать несколько выводов:

1. Вблизи действующих разрезов и горящего террикона увеличиваются поглощенные дозы ионизирующего излучения. Это связано, с поступлением в окружающую среду продуктов взрывов и горения разрезов и отвалов. Зарегистрированные дозы не превышают допустимого предела для природного облучения 0,5 сГр/год.

2. Поступление этих продуктов обеспечивает загрязнение атмосферного воздуха и выпадения частиц на снеговой покров, что проявляется в спектрах поглощения (рис. 2) во всем исследуемом диапазоне длин волн (вероятно за счет отражения на частицах с  $\lambda \geq \lambda$  возбуждающего света).

3. В спектрах поглощения талого снега для проб, отобранных вблизи производителей ВВ наблюдается повышение поглощения в коротковолновой области, обусловленного наличием в пробах нитрат и нитрит ионов, хорошо растворяющихся в воде.

4. Повышение их концентраций по видимому также наблюдается и в колодезной воде. А характеристики озерной воды и талого снега сопоставимы, что свидетельствует о том, что поверхностные воды формируются в основном качеством осадков.

Литература.

1. Инструкция о порядке проведения отбора проб снега на территории республики Татарстан в 2010 г. – Казань, 2010.
2. В. Шмидт, Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. – Москва: Техносфера, 2007. – 368 с.
3. Я.П. Молчанова, Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / Я.П. Молчанова, Е. А. Заика, Э. И. Бабкина, В. А. Сурни.-М.Форум-Инфа-М, 2007. – 190с.

#### **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ**

*Э.К. Габитов, ст. гр. 10А42, Л.Г. Деменкова, ст. преп.,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62*

*E-mail: gabitov.9696@mail.ru*

Нержавеющая сталь – легированная сталь, устойчивая к коррозии в атмосфере и агрессивных средах. В 1913 году англичанин Г. Бреарли, экспериментировавший с различными видами и свойствами сплавов, обнаружил способность стали с высоким содержанием хрома сопротивляться кислотной коррозии. Коррозионная стойкость – способность материалов сопротивляться коррозии, определяемая скоростью коррозии в данных условиях. Для оценки скорости коррозии используются как качественные, так и количественные характеристики. Изменение внешнего вида поверхности металла, изменение его микроструктуры являются примерами качественной оценки скорости коррозии.

Нержавеющие стали делят на три группы [1]:

1. Коррозионностойкие стали – от них требуется стойкость к коррозии в несложных промышленных и бытовых условиях (из них можно изготавливать детали оборудования для нефтегазовой, легкой, машиностроительной промышленности, хирургические инструменты, бытовую нержавеющую посуду и тару).

2. Жаростойкие стали – от них требуется жаростойкость – стойкость к коррозии при высоких температурах в агрессивных средах (например, на химических заводах). Жаростойкая сталь – это сталь, обладающая стойкостью против коррозионного разрушения поверхности в газовых средах при температурах свыше 550 °С, работающая в ненагруженном или слабонагруженном состоянии. Жаростойкость (окалиностойкость) стали характеризуется сопротивлением окислению при высоких температурах. Для повышения окалиностойкости сталь легируют элементами, которые изменяют состав и строение окислы. В результате введения в сталь необходимого количества хрома (Cr) или кремния (Si) в процессе окисления на поверхности образуются плотные оксиды на основе хрома или кремния. Образовывающаяся тонкая плёнка из этих оксидов затрудняет процесс дальнейшего окисления. Чтобы обеспечить окалиностойкость до температуры 1100 °С в стали должно быть не менее 28% хрома (например, сталь 15Х28). Наилучшие результаты получаются при одновременном легировании стали хромом и кремнием.

3. Жаропрочные стали – от них требуется жаропрочность – хорошая механическая прочность при высоких температурах, способность стали работать под напряжением в условиях повышенных температур без заметной остаточной деформации и разрушения. Основной характеристикой жаропрочности является ползучесть – явление непрерывной деформации под действием постоянного

напряжения. Жаропрочные свойства в первую очередь определяются температурой плавления основного компонента сплава, затем его легированием и режимами предшествующей термообработки, определяющими структурное состояние сплава. Самым распространённым легирующим элементом в жаропрочных сталях является хром (Cr), который благоприятно влияет на жаростойкость и жаропрочность. Такие стали используются для изготовления изделий, подвергающихся воздействию температур 5500-8000 °С [2].

Нержавеющие стали имеют более высокое сопротивление окислению и коррозии во многих естественных и искусственных средах, однако важно выбрать правильный тип и класс нержавеющей стали для специального применения. Высокое сопротивление окислению на воздухе и при температуре окружающей среды обычно достигается с добавлением хрома больше 12 %. Хром формирует пассивный слой из оксида хрома (III) ( $Cr_2O_3$ ) при контакте с кислородом. Слой слишком тонкий чтобы быть видимым, но выделяется металлическим блеском. Тем не менее, он защищает металл от воздействия воды и воздуха. Даже, когда поверхность поцарапана, этот слой быстро восстанавливается. Это явление называется пассивацией, и замечено у других металлов, например у алюминия. Когда нержавеющие стальные части типа гаек и болтов соединяют вместе, оксидный слой должен быть очищен для большей прочности их соединения.

Сопротивление нержавеющей стали коррозии, простое техническое обслуживание и ремонт, относительная экономия и блестящий вид делает это идеальным материалом для промышленного применения. Имеется огромное количество наименований изделий из нержавеющей стали, выпускаемых промышленностью. Известна 77-этажная башня Крайслера, стоящая в Нью-Йорке, которая украшена верхушкой и шпилем из нержавеющей стали, нанесенной плакированием [4].

Нержавеющую сталь возможно полностью повторно использовать. Фактически, более чем 50 % новой нержавеющей стали сделано при повторной переплавке металлолома, таким образом, это в некоторой степени экологически чистый материал [2].

Нержавеющие стали по своей микрокристаллической структуре делятся на 4 основные категории: аустенитные; ферритные; дуплексные; мартенситные. Например, добавление никеля стабилизирует аустенитную структуру железа. Эта кристаллическая структура делает такие стали немагнитными и менее ломкими при низких температурах. Таким образом, аустенитные стали - немагнитные и в дополнение к хрому содержат никель (обычно на уровне 18%), который увеличивает сопротивление коррозии. Эта группа нержавеющей жаропрочных сталей с повышенным присутствием никеля (10-20%) и хрома (20-25%) имеет лучшее сопротивление к окислению при высоких температурах и может применяться в частях печей, топках, муфельных печах [3]. Это самая широко используемая группа нержавеющей сталей (около 70% выпуска всех нержавеющей сталей). Типичный состав такой стали – 18 % хрома и никель 10 %, обычно известный, как 18/10. Такая сталь часто используется для изготовления столовых приборов. Выпускаются аустенитные стали и состава 18/0 и 18/8. «Супераустенитные» нержавеющие стали, типа сплава AL-6XN и 254SMO, оказывают большое сопротивление питтинговой и щелевой коррозии из-за высокого содержания молибдена (> 6%) с добавлением азота, а более высокое содержание никеля в них гарантирует лучшее сопротивление коррозионному растрескиванию. «Супераустенитные» стали очень дорогостоящие.

Ферритные – магнитные нержавеющие стали, имеют низкое содержание хрома (в основном на уровне 13-17%) . Ферритная нержавеющая сталь – высококоррозионностойкая, но гораздо менее надежная, чем аустенитного класса и не могут быть упрочнена высокотемпературной обработкой. Такие стали содержат от 10,5% и 27% хрома и очень небольшое количество никеля, если это имеет место. Большинство составов включает молибден; некоторые – алюминий или титан. Типичные ферритные стали имеют состав: 18Cr-2Mo, 26Cr-1Mo, 29Cr-4Mo, 29Cr-4Mo-2Ni. Аустенитные и ферритные сорта составляют приблизительно 95% всех используемых нержавеющей сталей [3].

Дуплексные стали имеют смешанную, ферритно-аустенитную структуру. Содержание никеля изменяется от 4,5% до 8% и хрома от 18% до 28% [4]. Дуплексные сорта находят свое применение в средах, где имеет место высокое содержание солей. Такие стали характеризуются высоким содержанием хрома (19-28%) и молибдена (до 5%) и более низким содержанием никеля, чем аустенитные нержавеющие стали. Прочность такой стали выше, чем у аустенитной, а прочность к коррозии, особенно питтинговой, щелевой и коррозионному растрескиванию – выше. Кроме того, преимущество сталей этой группы – повышенный предел текучести по сравнению с аустенитными однофазными сталями, меньшее содержание дорогого никеля и хорошая свариваемость. Аустенито-ферритные стали находят широкое применение в различных отраслях современной техники, особен-

но в химическом машиностроении, судостроении, авиации. К этому виду относятся стали типа 08X22H6T, 08X21H6M2T, 08X18Г8H2T.

Мартенситные – магнитные стали, содержат обычно 12% хрома. Они упрочняются закалкой и отпуском подобно простым углеродистым сталям и поэтому находят применение, главным образом, в изготовлении режущих инструментов, столовых приборов и общем машиностроении. Состав таких нержавеющей сталей может быть дополнен ниобием и медью. Мартенситные нержавеющей стали не такие коррозионно стойкие, как вышеописанные типы, но чрезвычайно прочные и упругие, а также хорошо подвержены обработке резанием и могут быть упрочнены высокотемпературной обработкой. Мартенситные нержавеющей стали содержат 12-14 % хрома, 0,2-1% молибдена, отсутствует никель. Они закаленные и магнитные. Такая сталь также известна как «серия-00». Эти стали хорошо сопротивляются процессу коррозии, они идеальны для шахтных насосов и космических кораблей [4].

Исследования коррозии нержавеющей стали марки 12X18H10T (углерода 0,12%, 18% хрома и 10% никеля) в условиях повышенных температур (60-100 °С) в кислой среде (0,1 М и 0,01 М HCl) позволили выявить электрохимическую коррозию – самопроизвольное разрушение металлических материалов вследствие их электрохимического взаимодействия с окружающей, электролитически проводящей средой. При исследовании обнаружена точечная (питтинговая) коррозия, характерная для нержавеющей стали. Питтинговая коррозия представляет собой разрушение в виде отдельных мелких (не более 1-2 мм в диаметре) и глубоких (глубина больше поперечных размеров) язвочек. Обнаруженными продуктами коррозии, т.е. химическими соединениями, образующимися в результате взаимодействия металла и коррозионной среды являются ионы  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ . При комнатной температуре коррозия не наблюдалась.

Таким образом, установлено, что нержавеющей стали широко применяются в промышленности благодаря комплексу полезных свойств, однако абсолютно не подверженных коррозии сталей не существует.

Литература.

1. Бородулин Г. М., Мишкевич Е. И. Нержавеющая сталь. – М.: «Металлургия», 2008. – 393 с.
2. Гуляев А.П., Жадан Т.А. Новые низколегированные нержавеющей стали. – М.: «Машиностроение», 2012. – 104 с.
3. Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов. – М.: «Металлургия», 2011. – 302 с.
4. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. – М.: «Металлургия», 2008. – 800 с.

## **ЭКОЛОГИЯ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФОРМОВОЧНЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ**

*А.С. Григор, к.т.н. доц.*

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул  
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. 8-(3852)-29-09-63*

*E-vail: asgrigor84@mail.ru*

Получение отливок с заданной чистотой поверхности и без пригара является одной из важнейших проблем литейного производства. Частота поверхности отливок и образование пригара при получении отливок в сырые песчано-глинистые формы во многом зависят от состава и свойств формовочной смеси, а также от протекающих процессов на поверхности контакта металл-форма.

В целях повышения чистоты поверхности отливок и снижения вероятности образования пригара в составы формовочных смесей вводят антипригарные добавки. При производстве отливок из чугуна в качестве антипригарных добавок широкое распространение получили углеродосодержащие материалы. Среди них молотый гранулированный уголь, мазут и другие продукты переработки нефти, отходы химических производств, переработки древесины и т.п.

Существует несколько точек зрения на антипригарный характер действия углеродосодержащих материалов в формовочной смеси. Первоначально считалось, что углеродосодержащие материалы в процессе заливки формы металлом создают газовую рубашку и тем самым противодействуют проникновению жидкого металла в поверхностные слои литейной формы. Рекомендовалось использовать углеродосодержащие материалы, способные выделять необходимое количество газовой фазы. Согласно другой теории считается, что углеродосодержащие материалы создают в полости формы восстановительную атмосферу, уменьшают окисленность металла и тем самым снижается вероятность проникновения жидкого металла в межзерновое пространство.

После многолетних работ отечественные и зарубежные исследователи пришли к выводу, что в процессе термического разложения углеродосодержащих добавок происходит образование газообразных продуктов, которые конденсируются на поверхности частиц формовочной смеси и образуют "блестящий" или пиролитический углерод (пироуглерод), который в свою очередь изменяет условия взаимодействия жидкого металла с материалом формы. В этой связи количество выделяющегося "блестящего" углерода является критерием применимости того или иного углеродосодержащего материала в качестве антипригарной добавки. Однако, кроме "блестящего" углерода углеродосодержащие материалы, разлагаясь, образуют и другие продукты, которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на свойства формовочной смеси и окружающую среду. Продукты разложения, создающие восстановительную атмосферу в полости формы, оказывают положительное влияние на формирование качества поверхности отливок. Ряд продуктов: зола, коксовый остаток, соединения серы не только ухудшают поверхность отливок, но и ухудшают свойства смеси. В зависимости от типа углеродосодержащего материала и температуры прогрева в слоях формы может выделяться широкий спектр экологически вредных продуктов (метанол, бензол, ксилол, фенол, нафталин, фенатрен, антрацен и другие полициклические ароматические углеводороды) (таблица 1), которые частично конденсируются в формовочной смеси, частично пригорают, а также выделяются" в окружающую среду и загрязняют атмосферу [1].

Среди углеродосодержащих материалов, применяемых в литейном производстве, наибольшее распространение имеет молотый или гранулированный каменный уголь. По некоторым источникам, потребность литейных цехов в молотом угле составляет 400...450 тысяч тонн в год. Иными словами эти объемы угля подвергаются термическому разложению не в каких-либо специальных устройствах, а непосредственно в литейных формах.

При этом 1 кг каменного угля в процессе термического разложения в литейной форме выделяет экологически вредные вещества: 2...5 мг метанола, до 6 мг бензола, 1...3 мг толуола, 2...5 мг ксилола, до 14 мг фенола, до 25 мг крезола, 8 мг ксиленола, 19...20 мг нафталана и до 9000 мг окиси углерода. Ежегодно только литейные цеха, использующие каменный уголь в качестве антипригарной добавки выбрасывают в окружающую среду десятки тонн экологически вредных веществ. При этом полезное действие молотого угля, а именно: образование "блестящего углерода" в литейной форме составляет 2...10%.

В этой связи возникает вопрос о целесообразности использования каменного угля и других углеродосодержащих материалов в качестве антипригарных добавок, т.к. коэффициент их полезного действия - (образование "блестящего" углерода) очень низкий, а загрязнение окружающей среды побочными продуктами достаточно высокое. Кроме этого каменный уголь, мазут являются энергоносителями и должны использоваться по их прямому назначению.

В целях улучшения экологической обстановки, а также экономии углеродосодержащих материалов целесообразно использовать в качестве антипригарной добавки готовый "блестящий" углерод.

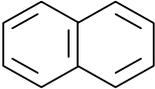
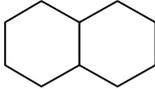
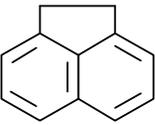
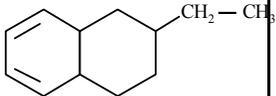
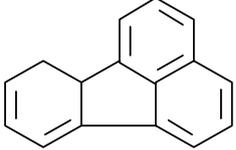
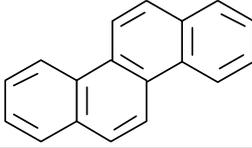
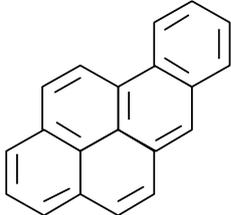
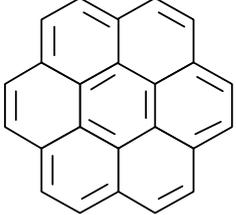
Разработан состав формовочной смеси для чугунного литья, где использован в качестве антипригарной добавки углеродосодержащий материал, соответствующий составу и свойствам "блестящего" углерода. Свойства смеси с "блестящим" углеродом полностью удовлетворяет условиям производства, чистота поверхности отливок соответствует техническим условиям. При этом расход "блестящего" углерода составляет 0,430 кг на 1 тонну годных отливок вместо 32,2 кг молотого угля, то есть почти в 75 раз уменьшен расход антипригарной добавки.

Таблица 1

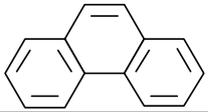
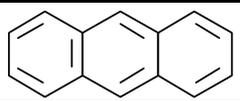
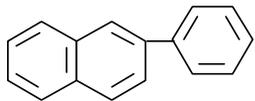
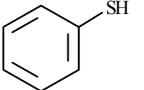
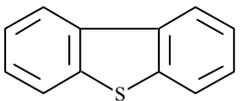
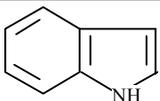
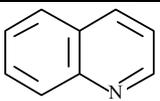
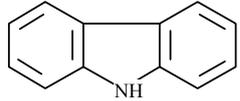
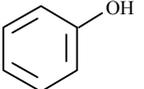
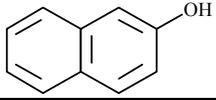
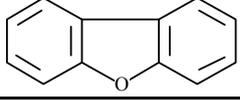
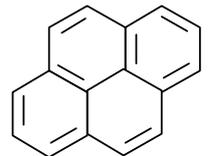
Возможные продукты термодеструкции углеродосодержащих материалов

Название	Структурная формула	Молекулярный вес	Температура кипения, °С	Температура плавления, °С	Химическая формула
Бензол		78,1	80	5,5	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Циклогексан		84,2	81	6,5	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>

Секция 2: Новые материалы и химические технологии

Название	Структурная формула	Молекулярный вес	Температура кипения, °С	Температура плавления, °С	Химическая формула
Нафталин		128,2	218	80	$C_{10}H_8$
Декагидро-нафталин (декалин)		138,3	196	-43	$C_{10}H_{18}$
Аценафтен		154,2	277	95	$C_{10}H_{12}$
Этилтетронафталин		160,3	260	–	$C_{12}H_{16}$
Флуорантен		202,3	400	110	$C_{16}H_{10}$
Хризен		228,3	448	254	$C_{18}H_{12}$
Бензапирен		252,3	400	178	$C_{20}H_{12}$
Коронен		303,3	–	440	$C_{24}H_{12}$
Тиофен		84,1	84	-38	$C_4H_4S$
Тиофан		88,2	121	–	$C_4H_2S$
Дифенил		154,2	255	69	$C_{10}H_{12}$
Циклогексил-бензол		160,3	238	7	$C_{10}H_{16}$

II Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов  
«Современное состояние и проблемы естественных наук»

Название	Структурная формула	Молекулярный вес	Температура кипения, °С	Температура плавления, °С	Химическая формула
Фенантрен		178,2	340	99	$C_{14}H_{10}$
Антрацен		178,2	342	216	$C_{14}H_{10}$
Фенилнафталин		204,3	346	103	$C_{16}H_{12}$
Тиофенол		110,2	169	–	$C_6H_5SH$
Дифенилсульфид		186,3	296	-21	$C_{12}H_{10}S$
Пиридин		79,1	115	-40	$C_5H_5N$
Индол		117,2	254	52	$C_8H_7N$
Хинолин		129,2	238	-19	$C_9H_7N$
Карбазол		167,2	355	246	$C_{12}H_9N$
Фенол		94,1	182	41	$C_6H_5OH$
$\beta$ - нафтол		144,2	286	122	$C_{10}H_8O$
Дифениленоксид		168,2	287	86	$C_{12}H_8O$
Пирен		202,3	393	150	$C_{14}H_{10}$

Принципиально важным моментом применения готового "блестящего" углерода в качестве антипригарной добавки является то, что в процессе приготовления формовочной смеси вводится необходимое количество "блестящего" углерода, которое при перемешивании распределяется по поверхности всех компонентов формовочной смеси, то есть на стадии приготовления смеси создаются условия

управляемого процесса формирования ее антипригарных и технологических свойств. Введение готового "блестящего" углерода в смесь сводит до минимума выделение вредных побочных продуктов, сопутствующих в процессе его получения, что существенно улучшает экологическую обстановку в литейном цехе. "Блестящий" углерод, имея высокую удельную поверхность, требует меньшего расхода для покрытия частиц формовочной смеси пленкой требуемой толщины. При этом частицы глинистого связующего разделены пленкой "блестящего" углерода, что очень важно с точки зрения формирования технологических, физико-механических свойств формовочной смеси и восстановления вяжущих свойств глинистого связующего в процессе оборота смеси. "Блестящий" углерод способствует повышению коллоидальности глинистого связующего и увеличению физико-механических свойств готовой формовочной смеси.

Применение готового "блестящего" углерода в качестве антипригарной добавки в формовочных смесях по механизму воздействия на формирование комплекса свойств смеси имеет принципиальное отличие от ранее применяемых углеродосодержащих материалов и позволяет достичь ряд преимуществ:

- улучшить экологическую обстановку в литейном цехе за счет существенного уменьшения количества выделяющихся вредных побочных продуктов,
- сократить расход углеродосодержащего материала,
- оптимизировать физико-механические и технологические свойства формовочной смеси,
- уменьшить газотворность смеси.

Литература.

1. Марков, В.А. Экологические аспекты выбора углеродосодержащих материалов для формовочных смесей при литье чугуна / В.А. Марков, А.С. Григор, Ю.Н. Антуфьев // Литейное производство. – 2010. – №1. – С.27-30.

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ШВА В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

*Д.Е. Гусаров, ст. гр. 10А42, Л.Г. Деменкова ст. преп.,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62  
E-mail: lar-dem@mail.ru*

При изготовлении любых изделий сегодня применяют самые разнообразные материалы: металлы, пластмассы, керамику, композиционные и многие другие материалы. Детали, выполняемые из этих материалов, необходимо соединять между собой. Наиболее распространенным методом получения неразъемных соединений является сварка – метод, без которого невозможно представить изготовление подавляющего большинства машин и конструкций. За сто лет своего существования сварка прошла путь от электрической дуги и кислородно-ацетиленового факела до электронного или лазерного луча, плазмы и т.п.

Многообразие способов сварки потребовало синтеза знаний по различным направлениям физики, химии, математики. В процессе сварки соединяемые материалы разогреваются до жидкого или пластического состояния, а затем при охлаждении вновь становятся твердыми, в результате образуется неразъемное соединение – сварной шов. Из физики хорошо известно, что при нагревании материал увеличивается в объеме, а при охлаждении – уменьшается. Однако при сварке нагревается не весь объем материала, а только его часть, что приводит к образованию значительных внутренних сил и, следовательно, к внутренним разрывам в материале. Кроме того, в жидком материале интенсивно происходят химические процессы, существенно изменяющие его свойства. Решение сложных задач получения надежных неразъемных соединений возможно на базе фундаментальных наук.

Несмотря на развитие сварочной техники и технологии, в сварных соединениях иногда возникают дефекты различного вида и размеров, приводящие к снижению работоспособности и долговечности конструкций, а иногда и к аварийным ситуациям. Для того чтобы исключить поступление в эксплуатацию сварных соединений с недопустимыми дефектами, необходимо применять методы неразрушающего контроля этих соединений. Для обнаружения таких дефектов применяют рентгеновское и гамма-излучения, магнитные, электрические и тепловые поля, ультразвуковые волны. На базе этих физических процессов созданы методы контроля, позволяющие обнаруживать дефекты размерами от единиц до тысячных долей миллиметра. Метод ультразвукового контроля качества сварного шва основан на неоднозначности отраженных ультразвуковых колебаний в сплошной среде

и при наличии дефектов. Автоматизация процесса позволяет получить на экране непосредственный результат. Приборы легко улавливают отклонения колебаний и позволяют определять, здоров материал или болен, будут появляться в нем дефекты или нет.

Контроль сварных швов изделий на непроницаемость производится в тех случаях, когда они предназначены для работы под действием жидкостей и газов. Испытание сварных изделий на непроницаемость проводится после контроля сварных швов внешним осмотром при сдаче готовой продукции. Способ испытания швов на непроницаемость выбирается в зависимости от назначения изделия и технических условий на его изготовление. Нарушение непроницаемости швов возможно при наличии в нем трещин, газовых пор и непроваров. Правила контроля швов на непроницаемость в общем виде изложены в ГОСТ 3242-79 «Соединения сварные. Методы контроля качества».

Испытание швов керосином основано на его высокой проникающей способности. Испытанию керосином подвергаются главным образом открытые сосуды, резервуары, цистерны и другие изделия, предназначенные для хранения жидкостей. Практически для обнаружения неплотностей швов в изделии их покрывают меловой краской со стороны, доступной для осмотра и устранения дефектов. После высыхания меловой краски обратная сторона швов смачивается керосином или на шов накладывается ткань, пропитанная керосином, и выдерживается необходимое по расчету время, обычно от 15 до 60 мин. Керосин проходит сквозь дефекты в шве и выступает на окрашенной мелом поверхности в виде ржавых пятен и полос и тем самым выявляет дефектные участки швов. Если на поверхности шва в течение установленного времени не обнаруживается пятен от керосина, то шов считается выдержавшим испытание.

В изделиях, где имеются нахлесточные швы, испытания керосином производятся нагнетанием керосина в межнахлесточное пространство. Этими испытаниями выявляются самые мелкие неплотности швов. Дефекты, обнаруженные испытанием керосином, вырубаются и завариваются после удаления керосина. Из-за трудностей удаления керосина нахлесточные соединения лучше испытывать сжатым воздухом

При испытании воздухом с добавлением аммиака и при замене мыльной воды другим индикатором чувствительность к выявлению неплотностей швов значительно возрастает. Это испытание заключается в том, что сварные швы испытуемого изделия покрывают бумажной лентой или медицинским бинтом, пропитанным 5%-ным водным раствором азотной кислоты ртути или раствором фенолфталеина.

В испытываемое изделие подается аммиак в количестве 1% от объема воздуха в нем при нормальном давлении, затем нагнетается воздух до давления, принятого техническими условиями.

Если в шве имеются поры или другие дефекты, нарушающие непроницаемость швов, то аммиак проходит через них, действует на бумагу, пропитанную азотной кислотой ртути или фенолфталеином, и оставляет на ней черные или фиолетовые пятна, фиксирующие место расположения дефектов в шве.

Бумагу выдерживают под действием аммиака в течение 1-5 мин, затем снимают; она является документом (химограмма), определяющим качество шва. Бинт может быть применен многократно после промывки и нового смачивания фиксирующим раствором.

При контроле крупных сосудов имеющих большую емкость, в целях экономии бумаги и уменьшения времени, затрачиваемого на обкладку швов, можно применять рамку с натянутым полотном, пропитанным фиксирующими растворами. Рамку надо перемещать вдоль испытуемого изделия.

Опыт проведения испытаний воздухом в смеси с аммиаком показал, что этот способ более точный и более производительный, чем испытание с обмазкой мыльной водой.

Физическая сущность люминесцентного и цветного методов контроля состоит в использовании явления проникновения хорошо смачивающей жидкости в трещины, поры и другие поверхностные дефекты сварных соединений. Проникновение жидкости в трещину или другой дефект шва тем больше, чем больше коэффициент проникновения, причем как при рассмотрении керосиновой пробы на сквозное проникновение жидкости, так и в данном случае зависимости сохраняются. Можно предполагать, что при сквозных дефектах скорость проникновения жидкости будет выше, чем при поверхностных. Проникновение жидкости в дефекты ухудшается при наличии в них загрязнений, а также воздуха, который сжимается под действием проникающей жидкости, например, в трещине до высоких давлений.

Таким образом, выявляемость дефектов люминесцентным методом во многом зависит от чистоты поверхности и свойств люминесцирующей жидкости. Для получения высокой чувствительности метода к выявлению дефектов важно иметь жидкость, обладающую хорошей смачивающей способностью и интенсивным свечением при освещении ее ультрафиолетовыми лучами. Практическое

проведение контроля состоит в следующем. Поверхность исследуемого шва изделий больших размеров очищают от загрязнений и на чистую поверхность наносят флуоресцирующую жидкость. Мелкие детали, например, сварной инструмент, погружают в ванну с жидкостью. В первом и втором случаях исследуемые детали смачиваются жидкостью в течение 10-15 мин. Хороший эффект дает смачивание жидкостью подогретых деталей, у которых увеличивается ширина раскрытия дефектов.

В практике контроля применяются жидкости различного состава: без добавки специальных люминофоров, так как жидкость сама достаточно хорошо люминесцирует в ультрафиолетовом свете, и с добавкой люминофора, например дефектоля зелено-золотистого. В первом случае применяются жидкости следующего состава: 15% трансформаторного масла и 85% керосина, где масло является светящейся жидкостью. В указанную смесь для лучшего ее удаления после контроля добавляют эмульсатор в количестве 2–3% от объема жидкости. Во втором случае состав жидкости следующий: 50% керосина, 25% бензина, 25% минерального масла (трансформаторного или вазелинового) и 0,02-0,03% флуоресцирующего вещества – дефектоля. Дефектоль представляет собой концентрат углеводов, который дает яркое желто-зеленое свечение при ультрафиолетовом облучении и тем самым улучшает выявляемость дефектов.

После смачивания сварного шва жидкостью излишек ее удаляется сухими опилками или промывкой, после чего сварной шов просушивается. Жидкость, проникшая в дефекты, удерживается там капиллярными силами.

Для обнаружения жидкости в дефектах, т. е. для их выявления, на исследуемый объект наносят тонкий слой порошка углекислого магния, талька и др. Покрытые порошками детали выдерживают в течение 30–50 мин, при этом над дефектом масло пропитывает порошок. Далее лишний порошок удаляют, сварной шов освещают ультрафиолетовым светом, и все поверхностные дефекты, в которые проникла люминесцирующая жидкость, становятся хорошо видны по яркому желто-зеленому свечению. Для получения ультрафиолетовых лучей используются ртутно-кварцевые лампы типа ПРК-2, ПРК-4, дающие излучение с длиной волны 38-30  $10^{-8}$  м. Для фильтрации части излучения с большей волной применяются фильтры УФС-3-4 (стекло, содержащее окись никеля).

Для массового контроля применяются стационарные установки с механизацией смачивания и сушки деталей и с конвейерной подачей их с одной операции на другую. Такие установки имеют высокую производительность. При выявлении дефектов, особенно мелких, чтобы уменьшить сопротивление воздуха проникновению жидкости в дефекты, заполнение их люминесцирующей жидкостью, а также исследование производят в вакууме. Люминесцентным методом можно выявлять в сварных швах минимальные трещины, размером 0,01 мм по ширине и 0,03-0,04 мм по глубине. Такая высокая чувствительность метода дает возможность применять его для выявления трещин в околошовной зоне многих сварных соединений, особенно немагнитных сталей и швов цветных металлов и сплавов. Преимущества люминесцентного метода следующие: простота аппаратуры; возможность контроля любых материалов – металлов, керамики, пластмассы и т. п.; низкая стоимость контроля и высокая его производительность.

Цветной метод применяется при контроле сварных соединений для выявления трещин и других дефектов сварки, выходящих на поверхность шва. В отличие от люминесцентного метода, где для рассматривания дефектов швов необходим ультрафиолетовый свет и затемнение, при цветном методе контроля никакой аппаратуры не требуется. Сущность цветного метода состоит в том, что на очищенную от грязи поверхность контролируемого изделия наносят слой подкрашенной проникающей жидкости.

Жидкость – краска наносится за три-четыре приема для лучшего проникновения ее в мельчайшие дефекты. Время выдержки для проникновения краски в дефекты составляет 15-20 мин. После покрытия краской поверхность изделия промывается 50%-ным водным раствором кальцинированной соды и просушивается. Далее на просушенную поверхность сварного шва пульверизатором наносят тонкий слой суспензии – раствора каолина в воде. Покрытую каолином поверхность просушивают подогретым воздухом. При просушке краска, заполнившая дефекты, диффундирует на поверхность и окрашивает белый каолин в красный цвет. Таким образом, на белом фоне подсушенного каолина, покрывающего шов, выступают красные полосы от трещин и пятна от пор в исследуемом шве. Поверхность шва после просушки осматривается для лучшей выявляемости дефектов дважды: через 3-5 и через 20-30 мин. Из многочисленных существующих рецептов на проникающую жидкость наибольшее применение нашла краска следующего состава: 20% скипидара, 90% керосина, 10 г краски «Судан 4» на 1 л жидкости.

Чувствительность метода краски примерно такая же, как чувствительность люминесцентного метода, несколько ниже люминесцентного вакуумного метода и магнитного порошкового метода.

Чувствительность метода краски к выявлению мелких дефектов сварных швов зависит от чистоты исследуемой поверхности шва. Загрязнения в виде жира, масла, нагара, окислов, шлаков должны быть тщательно удалены. Неровности поверхности шва в виде чешуек, даже на швах, выполненных ручной сваркой, не оказывают влияния на чувствительность метода.

Цветной метод контроля дает хорошие результаты при выявлении дефектов в сварных швах алюминия, титана, нержавеющей сталей и других металлов и сплавов. Кроме выявления дефектов сварки плавлением, цветной метод используется для выявления межкристаллитной коррозии.

Цветной метод может быть хорошим дополнением к другим физическим методам контроля: рентгеновскому и ультразвуковому для выявления мелких поверхностных дефектов, имеющих размеры за пределами чувствительности этих методов.

Огромное значение имеет применение ультразвуковых колебаний для обнаружения скрытых дефектов в материалах и изделиях – это ультразвуковая дефектоскопия, которая широко используется в промышленности. Ультразвук – это упругие колебания и волны, частота которых превышает 15-20 кГц. Разработаны и выпускаются специальные приборы – дефектоскопы различного назначения и с различными техническими характеристиками. Ультразвуковой дефектоскоп предназначен для генерирования импульсов ультразвуковых колебаний, приёма отражённых сигналов, преобразования этих сигналов в вид, удобный для наблюдения, а также для измерения координат дефектов и сравнения амплитуд сигналов. Одним из представителей дефектоскопов, применяемых для обнаружения дефектов в сварных соединениях, является ультразвуковой дефектоскоп УД2-12.

Радиационные методы контроля основаны на способности ионизирующего излучения неодинаково проникать через различные материалы и поглощаться в них в зависимости от толщины, рода (плотности) материалов и энергии излучения. Интенсивность проникающего излучения будет больше на участках меньшей толщины или меньшей плотности, в частности в местах дефектов – несплошностей (трещин, непроваров), неметаллических включений или пор. Разность интенсивностей регистрируется детектором и выводится либо радиографическим снимком, либо на экран видеоконтрольного устройства.

Если в металле есть области, имеющие магнитную проницаемость, отличающуюся от магнитной проницаемости от основного металла, то магнитные силовые линии будут распределяться неравномерно по сечению металла. Обнаружение дефектов в металле магнитными методами основано на том, что образовавшийся над дефектом местный поток рассеяния улавливается, – выявляется магнитным порошком или индукционной катушкой

Следует отметить, что среди перечисленных методов контроля нет такого, который гарантировал бы выявление всех дефектов сварки. Каждый из этих методов обладает своими преимуществами и недостатками. Например, при использовании радиационных методов контроля достаточно уверенно обнаруживают объёмные дефекты небольшого размера (0,1 мм и более) и значительно хуже – несплавления, трещины и стянутые непровары. Ультразвуковой метод, наоборот, более чувствителен к плоскостным дефектам и малоэффективен при контроле конструкций с дефектами в виде пор размером 1 мм и менее. Для выявления поверхностных дефектов применяют или капиллярный, или магнитные методы контроля. Практика показывает, что правильная организация процессов контроля, а также умелое применение того или иного метода или сочетания методов при контроле позволяют с большой надёжностью оценить качество сварных соединений.

#### Литература.

1. Назаров С. Т. Методы контроля качества сварных соединений. – М.: 2008. – 220 с.
2. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки. Под ред. Акулова А.И. – М.: Машиностроение, 2009. – 560 с.
3. Хромченко Ф.А. Справочное пособие электросварщика. М.: Машиностроение, 2013. – 416 с.
4. Романов И.О., Строителев Д.В., Макиенко В.М. Неразрушающие методы контроля и диагностики деталей и узлов подвижного состава: учебное пособие по выполнению лабораторных работ. – Хабаровск, 2008. – Электронный ресурс: [http://edu.dvgups.ru/metdoc/gdtran/nts/teh\\_met/teh\\_km/metod/diag\\_det\\_sos/main.htm](http://edu.dvgups.ru/metdoc/gdtran/nts/teh_met/teh_km/metod/diag_det_sos/main.htm)
5. Молотков С.Л. Ультразвуковой дефектоскоп УД 2-12. Практическое пособие в вопросах и ответах. – Санкт-Петербург, 2009. – 121 с.
6. Алёшин Н.П., Щербинский В.Г. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий. – М.: Высшая школа, 2011. – 271 с.
7. Методы дефектоскопии сварных соединений / под общ. ред. В.Г. Щербинского. – М.: Машиностроение, 2007. – 336 с.

## **ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТАМ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*Д.В. Дудихин, студент, Е.В. Бабакова, ассистент,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8-(38451)-6-05-37  
E-mail: dudihin.diman@mail.ru*

Одним из сильнейших факторов, воздействующих на окружающую среду является строительство зданий и сооружений на свободных территориях. Уже на стадии разработки проекта строительства и рабочих чертежах предусматривается охрана окружающей среды.

Одним из ключевых документов, который отражает проблемы охраны окружающей среды – строительный генеральный план застройки. Осуществлять государственную экологическую экспертизу и исполнять природоохранные требования при возведении объектов следует на всех стадиях постройки. Реконструируя действующие промышленные предприятия в проектах строительства следует учитывать данные обследования технического состояния инженерных сетей, коммуникаций и конструкций. При реконструкции объектов учитывается устройство комплексной доставки материалов и оборудования. Целью такого рода учета является исключение любого проявления экологического характера на окружающую среду.

Воздействие на окружающую среду происходит на всех этапах строительной деятельности, как при постройке отдельных зданий и сооружений, так и при строительстве целых городов, начиная от проектирования и до ввода в эксплуатацию.

В проекты строительства закладываются следующие основные требования, которые заключаются в обеспечении сохранности природы, почвенного покрова, ландшафта, кустарников и деревьев на площадках, где будут возводиться строительные объекты, а также дороги и коммуникации, прокладываемые к ним. Разрабатывая раздел плана об охране труда и охране окружающей среды проектировщики пытаются уменьшить негативное влияние, связанное с осуществлением строительных работ.

На стадии подготовительных работ и в процессе строительства охрана окружающей среды регламентируется рядом природоохранных актов, в частности: Водным кодексом РФ, Земельным кодексом РФ, Лесным кодексом РФ, кодексом РФ «Об административных правонарушениях», СП 48.13330.2011 «Организация строительства».

Строительная деятельность должна реализовываться после подготовки всех строительных объектов и строй площадки на основе генерального плана застройки. Там обязаны предусматриваться решения абсолютно всех территориальных работ основного и подготовительного периодов строительства, а также все экологические вопросы. Если техническими и организационными решениями охватывается зона за пределами строй площадки, помимо строительного генерального плана разрабатывается ситуационный проект постройки. В котором указывается расположение жилых поселков, предприятий, карьеров и материально-технической базы, подъездных дорог, морских и речных причалов, станций примыкания к железнодорожным путям, линий электропередачи и связи, транспортных схем поставки строительных деталей материалов и конструкций.

На ситуационный проект вносятся пределы местности возводимого объекта, существующих зданий и сооружений, посаженных отдельно деревьев и кустарников, участков с зелеными насаждениями, а также деревья, подлежащие вырубке. Генеральный план строительства на обширной территории, групп зданий, отдельных объектов является одним из важнейших документов, учитывающий проблемы охраны окружающей среды.

Учитывая сложность объекта строительства, а также его расположение на местности, можно дополнять содержание проекта организации строительства. Например, при необходимости использования специальных вспомогательных установок, индивидуальных особенностей отдельных видов работ устройств и сооружений. Данный случай не допускает непредусмотренное проектной документацией уничтожения деревьев и кустарников, а также их грунтом (при необходимости).

Если ведется строительство с применением уникального технологического оборудования и принципиально новой технологии строительства промышленных комплексов, сложных объектов, где здания и сооружения охватывают большую территорию или предприятия и сооружения, расположенные в особо сложных природных или геологических условиях. В состав такого проекта организации строительства дополнительно включают:

1. мероприятия по защите почвенного и растительного слоя, организации сброса в

канализационную сеть талых и дождевых вод;

2. сведения особенностях построения, о методах геодезического контроля и геодезической разбивочной основы;

3. предпринимают меры по защите селитебных территорий от запыленности и загазованности воздуха.

При уборке не допускается сбрасывание с этажей отходов и мусора без использования бункеров-накопителей и закрытых лотков.

Необходимо также разработать комплексный график, который отражает взаимосвязь между каждым участником строительных работ, этапы подготовки рабочей площадки, размещение складских территорий и временных зданий, очередность строительства объектов, а также прокладка дорог и коммуникаций. На всех стадиях строительства необходимо осуществлять государственную природоохранную экспертизу и исполнять экологические требования при возведении объектов, оказывающих влияние на состояние лесов, зеленых насаждений и кустарников.

Реконструируя функционирующие промышленные объекты в планах организации застройки необходимо принимать во внимание всех имеющиеся данные исследования технического состояния конструкций, внутриплощадочных и внутрицеховых коммуникаций, инженерных сооружений и транспортных средств, условий демонтажа производства строительного-монтажных работ и конструкций, для исключения запыленности, загазованности, повышенного шума, пожаров и взрыва. При реализации строительных видов работ необходимо соблюдать природоохранные требования и мероприятия, для минимизации и исключения причинения вреда окружающей среде.

При реконструкции объектов руководствуются следующими особыми условиями: обеспечение всем необходимым помещений складирования и хранения грузов; организация комплектной поставки материалов и оборудования; передвижение технических средств по территории реконструируемого предприятия. Целью соблюдения данных условий является предупреждение влияния любых экологических значимых факторов на окружающую среду.

При возведении водохозяйственных и гидротехнических объектов проблемы охраны окружающей природной среды предусматриваются в календарном проекте. В нем указывается время пропуска расходования воды в реке по отдельным этапам строительного периода, сроки наполнения водохранилища и перекрытия русла.

Также в строительных проектах гидротехнических объектов указывается порядок ввода в эксплуатацию поливаемых участков, порядок работ по возведению комплекса гидротехнических сооружений и положение объектов для пропуска расхода воды в реке на момент строительства.

В проекте организации строительства учитываются специфические экологические требования при постройке горных предприятий предназначенных для добычи полезных ископаемых и других подземных горных выработок; объектов в суровых природных условиях. Осуществляя строительство объектов в высокогорных и горных районах учитывается повышенная молниопасность и влияние шквалистых ветров, а также другие неблагоприятные природно-экологические факторы.

Производя строительство на грунтах с особыми свойствами или в районах с опасными геологическими процессами должны быть осуществлены первоочередные работы по организации водоотвода, организации контроля за просадками, применение систем временного водоснабжения, а также эксплуатация устройств предупреждающих замачивание грунтов.

При строительстве объектов на вечномёрзлых грунтах устанавливается порядок выполнения работ, при котором учитывают технологические особенности возведения конструкций здания, а также мерзлотно-грунтовые, гидрогеологические и температурные условия. К строительству объектов в особых природных условиях также предъявляются экологические требования. Для противообвальных и противооползневых защитных сооружений следует разрабатывать мероприятия:

1. по водопонижению и закреплению грунтов;
2. по организации водоотвода;
3. размещению грунта и его складированию, не допуская каких-либо отвалов в оползневой зоне;
4. по устойчивости склонов и откосов.

Выше изложенные экологические по требованиям охране окружающей среды необходимо учитывать и соблюдать в проектах строительных работ. Обязательно указывать общепринятые законодательством требования и в более детальном виде отображать вопросы, связанные с охраной окружающей среды непосредственно на объектах сосредоточения основных источников загрязнения. Вы-

полняя данные указания мы сможем смягчить, а во многих случаях даже избежать влияния отрицательных факторов на экологическую обстановку в районах строительства.

Литература.

1. Ляпина О.А. Экологические требования к проектам строительства. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/21ergsu513.pdf> (24.04.2015).
2. Лощилова М.А. Организационно-педагогические условия непрерывной профессиональной подготовки будущих инженеров на основе сетевого взаимодействия. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.science-education.ru/119-14815> (24.04.2015).
3. Экологические требования при осуществлении отдельных видов деятельности. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/osnovy-prava-2/278.htm> (24.04.2015).

### **БЕЛАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ**

*Д.В. Дудихин, студент, М.А. Платонов, к.т.н., доц.,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8-(38451)-6-05-37*

*E-mail: dudihin.diman@mail.ru*

ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» (далее ЧТПЗ) считается одним из фаворитов трубной промышленности России, активно внедряющим производственные инновации, самая популярная из которых - «белая металлургия».

«Белая металлургия» – это современный стандарт металлургического производства, за правило которого взято внедрение лучших инновационных технологий, высокий уровень образования сотрудников, экологичность и комфортные условия труда.

В настоящий момент «белая металлургия» стала неотъемлемой частью работы и развития передового трубного производства России [1].

На протяжении 40 лет своей работы ЧТПЗ считается лидером производства труб для магистральных газо- и нефтепроводов. Но на современном этапе производства требования к качеству и надежности продукции резко увеличились.

Для удовлетворения современным требованиям было решено в кратчайшие сроки провести широкомасштабную модернизацию действующего производства. И уже в 2002 году была реализована комплексная программа технического переоборудования производства труб большого диаметра. Программа предусматривала замену сварочного оборудования, средства неразрушающего контроля, установку механических экспандеров, повышающих точность изготовления труб, переход к использованию керамического флюса, модернизацию участка формовки труб, а также повышение уровня механизации производственных линий. Данная программа реконструкции производства была завершена уже в 2005 году [1].

Но для получения лидирующих позиций на рынке требовались дальнейшие инвестиции в производство. Поэтому в 2006 году приняли решение о постройке цеха, который должен соответствовать передовым требованиям в течение 20-30 лет. Задача была решена использованием технической концепции, основой которой явились следующие факторы:

1. использование накопленного опыта в производстве и развитии оборудования и технологий;
2. активное взаимодействие с зарубежными партнерами и научно-исследовательскими институтами, занимающимися проблемами трубного производства, металлургии, эксплуатации и проектирования газо- и нефтепроводов;
3. тотальное осознание возможностей, недостатков и преимуществ практически каждой компании, которые выпускают оборудование для оснащения трубных цехов.

Данный цех назвали «Высота 239» (рис. 1), в честь отметки 239 метров над уровнем моря, на которой он располагается. Его размер равен площади 14 футбольных полей. Это уникальный производственный объект по уровню технического оснащения и применяемых технологий.



Рис. 1. Общий вид цеха «Высота 239» [2]

При строительстве цеха задействовались инновационные принципы управления, которые стали основой производственной системы под названием «белая металлургия». Для работы в команде управления проектом были привлечены молодые, квалифицированные и мотивированные сотрудники. Происходило постоянное обучение проектной команды. Обеспечивался постоянный контроль за выполнением работ подрядными организациями. Использовались конкретные показатели, определяющие качество выполненных работ. Но важнейшим из принципов был строжайший контроль за соблюдением чистоты и порядка на каждом из возводимых объектов (рис. 2).

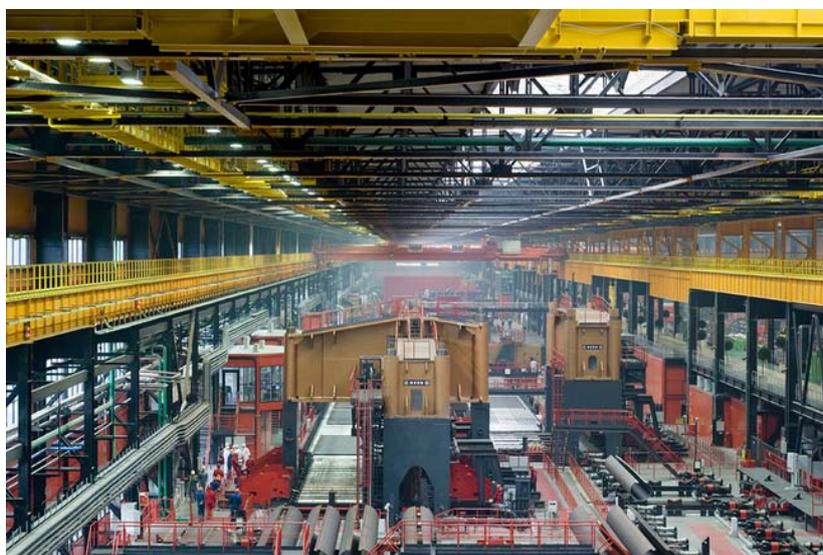


Рис. 2. Внутреннее помещение цеха «Высота 239» [2]

В июле 2011 года в цехе были изготовлены первые трубы. В настоящее время этот цех является крупнейшим в компании, так как вышел на проектную мощность уже через полгода со дня запуска работы.

Конечно, в отсутствии исполнения правил, определенных концепцией «белая металлургия», стало бы невозможно добиться указанных успехов в производстве. Это набор определенных правил для всех работников цеха:

1. соблюдение и постоянное поддержание на рабочих местах чистоты и порядка;
2. реализация концепции непрерывного улучшения;
3. поддержание технологической и трудовой дисциплины;
4. наличие опрятного внешнего вида и его поддержание;

5. уважительное и приветливое отношение ко всем сотрудникам.

Именно дисциплина, чистота и порядок являются приоритетными ценностями работы всех сотрудников цеха «Высота 239» [3].

В настоящее время принципы «белой металлургии» распространяются и на другие подразделения завода. Условия работы в цехах, которые были введены в эксплуатацию более 50 лет назад, благодаря концепции, стали соответствовать современным требованиям организации промышленного производства.

Из выше сказанного ясно, что внедрение концепции «белой металлургии», создают для сотрудников новые условия труда, существенно снижают сроки реализации инвестиционных проектов, а также позволяет получать прибыль в наиболее кратчайшие сроки, чем раньше.

Литература.

1. Тазетдинов В.И. «Белая металлургия» как инструмент повышения эффективности инновационного развития трубного производства. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/belaya-metallurgiya-kak-instrument-povysheniya-effektivnosti-innovatsionnogo-razvitiya-trubnogo-proizvodstva> (12.04.2015).
2. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://yo.ru/visota239/> (12.04.2015).
3. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.pioportal.ru/direktor-obrazovatel-nogo-proekta/> (12.04.2015).

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХРОМА, ОКСИДА МОЛИБДЕНА (VI) И СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ ДО И ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ПРИ T=673K**

*В.А. Елонова, уч. мастер I категории каф. неорганической химии,  
научный руководитель: Суровой Э.П., д-р хим.наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский Государственный Университет», г. Кемерово  
652300, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. 8(3842)-58-06-05  
E-mail: viktoryaelonova@mail.ru*

Исследование оптических свойств наноразмерных пленок Cr имеет большое значение из-за широкого использования в различных областях Хром – серебристый металл, совершенно чистый (без газовых примесей и углерода) хром довольно вязок, ковоч и тягуч. Химически хром довольно инертен вследствие образования на его поверхности прочной тонкой пленки оксида. Он не окисляется на воздухе даже в присутствии влаги, а при нагревании окисление проходит только на поверхности. Хром и его соединения активно используются в металлургии, химической, огнеупорной промышленности. Среди разнообразных неорганических материалов особое место занимает  $\text{MoO}_3$  и системы на его основе.  $\text{MoO}_3$  применяется в качестве катализатора в органическом синтезе, при переработке нефти (крекинг, гидроочистка). Он добавляется в качестве присадки к моторным маслам. Его используют для получения молибдена (его сплавов и соединений) как составную часть керамических глин, глазурей, эмалей, красителей. Целью данной работы являлось исследование природы и закономерностей изменения оптических свойств наноразмерных пленок хрома, оксида молибдена (VI) и систем на их основе до и после теплового воздействия при  $T = 673 \text{ K}$ . Образцы готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ ) путем нанесения тонких слоев хрома, оксида молибдена (VI) на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост ВУП-5М. Спектры поглощения пленок хрома различной толщины до и после теплового воздействия осуществляли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами. Установлено, что термическая обработка приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образцов. Наряду с уменьшением в исследуемом диапазоне длин волн оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ ) путем нанесения тонких слоев хрома, оксида молибдена (VI) на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост ВУП-5М [1 - 5]. В качестве испарителя использовали лодочки, изготовленные из танталовой жести. Оптимальное расстояние от лодочки - испарителя до подложки составляет 9-10 см. Подложками служили стекла от фотопластинок, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе бихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей воде, промывали в дистиллированной воде и сушили [3, 5]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 – 1100 нм. Толщину пленок хрома, оксида мо-

либдена (VI) и систем на их основе определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») методом [3 - 5]. Образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры (673 К) фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в течение 30-1410 секунд в сушильном шкафу «Тулячка ЗП». Регистрацию эффектов до и после теплового воздействия образцов осуществляли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»).

На рис. 1 приведены спектры поглощения пленок хрома до и после теплового воздействия при  $T=673$  К. Видно, что термическая обработка приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образцов. Отметим, что наблюдаемые изменения не аддитивны в рассматриваемом спектральном диапазоне длин волн. Наряду с уменьшением в исследуемом диапазоне длин волн ( $\lambda = 300-1100$  нм) оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

На рис. 2 приведены спектры поглощения пленок оксида молибдена (VI) до и после теплового воздействия при  $T=673$  К.

Видно, что тепловое воздействие приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образца. Отметим, что наблюдаемые изменения не аддитивны в рассматриваемом спектральном диапазоне длин волн. Было установлено, что при тепловом воздействии оптическая плотность образцов уменьшается.

На рис. 3 приведены спектры поглощения пленок  $\text{Cr-MoO}_3$  до и после теплового воздействия при  $T=673$  К. Видно, что по мере увеличения времени термообработки исследуемых объектов наблюдается уменьшение оптической плотности во всем исследованном диапазоне длин волн.

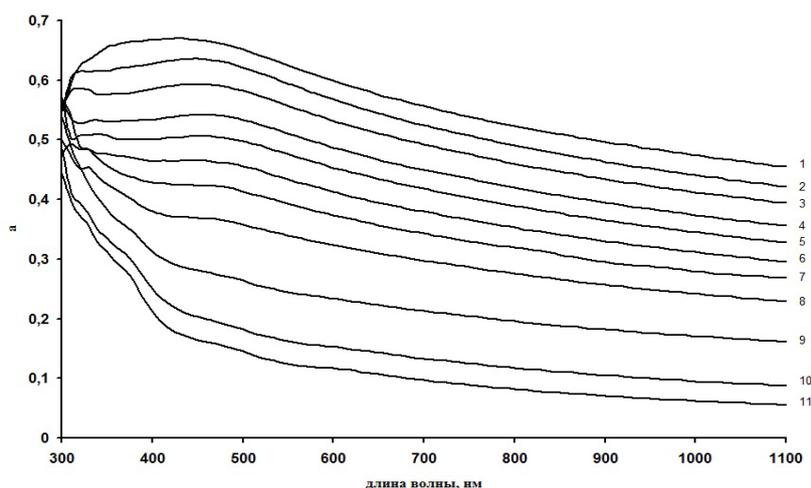


Рис. 1. Спектры поглощения пленки  $\text{Cr}$  ( $d=64$  нм) до и после термообработки К: 0 сек(1), 30 сек(2), 180 сек(3), 360сек(4), 480сек(5), 570сек(6), 810сек(7), 930сек(8), 1170сек(9), 1290сек(10), 1410 сек(11)

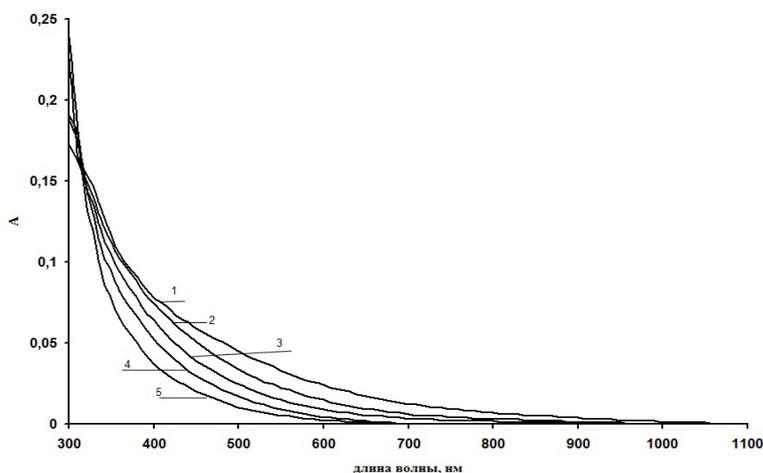


Рис. 2. Спектры поглощения пленки  $\text{MoO}_3$  ( $d=9$  нм) до и после теплового воздействия К: 0 сек(1), 240сек(2), 480сек(3), 600сек(4), 960сек(5)

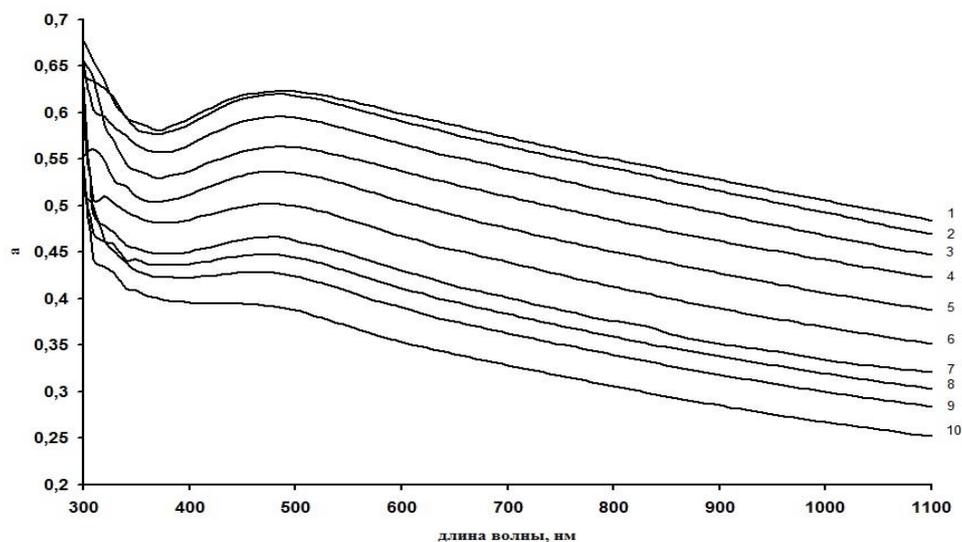


Рис. 3. Спектры поглощения системы хром – оксид молибдена (VI) толщиной  $d = (64 \text{ нм}; 9 \text{ нм})$  до и после термообработки К: 0сек (1), 30сек (2), 240сек (3), 360сек (4), 480сек (5), 570сек (6), 810сек (7), 930сек (8), 1170сек (9), 1410сек (10)

#### Литература.

1. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. Термопревращения в наноразмерных слоях  $\text{MoO}_3$  // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 11. С. 2120–2125
2. Э. П. Суrowой, Л.Н.Бугерко, В.Э.Суrowая и др. соавт., Русс. Ж. Физ. Химии. Хим. С. 86, 621 (2012).
3. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы  $\text{In-In}_2\text{O}_3$  // Неорган. материалы. 2012. Т. 48. № 7. С. 819–824.
4. Борисова, Н. В. Методы исследования неорганических материалов: учебное пособие// Н. В. Борисова, Л. Н. Бугерко, С. М. Сирик, Э. П. Суrowой, И. В. Титов: ГОУ ВПО «КемГУ». – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2008. - 182 с.
5. Э.П.Суrowой и С.В. Бин, Русс.Журнал Физической химии, Химия, с.87,473(2013)
6. Борисова Н.В., Суrowой Э.П. // Коррозия: материалы, защита. 2007. № 6. С. 13.
7. Э. П. Суrowой, Л.Н.Бугерко, В.Э.Суrowая. Русс. Ж. Физ. Химии. Хим. С. 86, 621 (2013).

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ХРОМА

*В.А. Елонова, уч. мастер I категории каф. неорганической химии, Л.А. Яковлева, студент, научный руководитель: Суrowой Э.П., д-р хим.наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Кемеровский Государственный Университет», г. Кемерово 652300, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. 8(3842)-58-06-05 E-mail: viktoryaelonova@mail.ru, lubasha230@yandex.ru*

Исследование оптических свойств наноразмерных пленок Cr имеет большое значение из-за широкого использования в различных областях Хром – серебристый металл, совершенно чистый (без газовых примесей и углерода) хром довольно вязок, ковоч и тягуч. Химически хром довольно инертен вследствие образования на его поверхности прочной тонкой пленки оксида. Он не окисляется на воздухе даже в присутствии влаги, а при нагревании окисление проходит только на поверхности. Хром и его соединения активно используются в металлургии, химической, огнеупорной промышленности. Целью данной работы являлось исследование природы и закономерностей изменения оптических свойств наноразмерных пленок хрома с различными толщинами до и после теплового воздействия при  $T = 673 \text{ К}$ . Образцы готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ ) путем нанесения тонких слоев хрома на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост ВУП-5М. Спектры поглощения пленок хрома различной толщины до и после теплового воздействия осуществляли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») и гравимет-

рическим (кварцевый резонатор) методами. Установлено, что по мере уменьшения толщины на спектрах поглощения постепенно перестают проявляться характерные для хрома полосы. В процессе термообработки наряду с уменьшением оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества – оксида хрома (III). Степень превращения образцов по мере уменьшения толщины пленок хрома и увеличения времени термообработки возрастает.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких слоев хрома на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост ВУП-5М [1 - 5]. В качестве испарителя использовали лодочки, изготовленные из танталовой жести. Оптимальное расстояние от лодочки - испарителя до подложки составляет 9-10 см. Подложками служили стекла от фотопластинок, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе бихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей воде, промывали в дистиллированной воде и сушили [3, 5]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 – 1100 нм. Толщину хромовых пленок определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами [3 - 5]. Образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры (673 К) фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в течение 0,5-600 минут в сушильном шкафу «Тулячка ЗП». Регистрацию эффектов до и после теплового воздействия образцов осуществляли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»).

На рис. 1 приведены спектры поглощения пленок хрома различной толщины до теплового воздействия при  $T=673$  К. Величина оптического поглощения образцов в значительной степени зависит от толщины пленок хрома. Видно, что в исследуемом диапазоне длин волн на спектральных кривых поглощения для всех исследованных образцов можно выделить характерные для хрома полосы. По мере уменьшения толщины пленок хрома на спектральных кривых поглощения постепенно перестают проявляться характерные для хрома полосы.

На рис. 2 приведены спектры поглощения пленок хрома толщиной  $d=94$  нм до и после теплового воздействия при  $T=673$  К. Видно, что тепловое воздействие приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образцов. Отметим, что наблюдаемые изменения не аддитивны в рассматриваемом спектральном диапазоне длин волн. Наряду с уменьшением в исследуемом диапазоне длин волн ( $\lambda = 300-1100$  нм) оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

Было установлено, что при тепловом воздействии оптическая плотность образцов уменьшается.

На рис. 3 в качестве примера приведены кинетические кривые степени превращения пленок Cr при  $T=673$  К в зависимости от первоначальной толщины образцов. Прежде всего, было отмечено, что степень превращения образцов по мере уменьшения толщины пленок и увеличения времени термообработки возрастает.

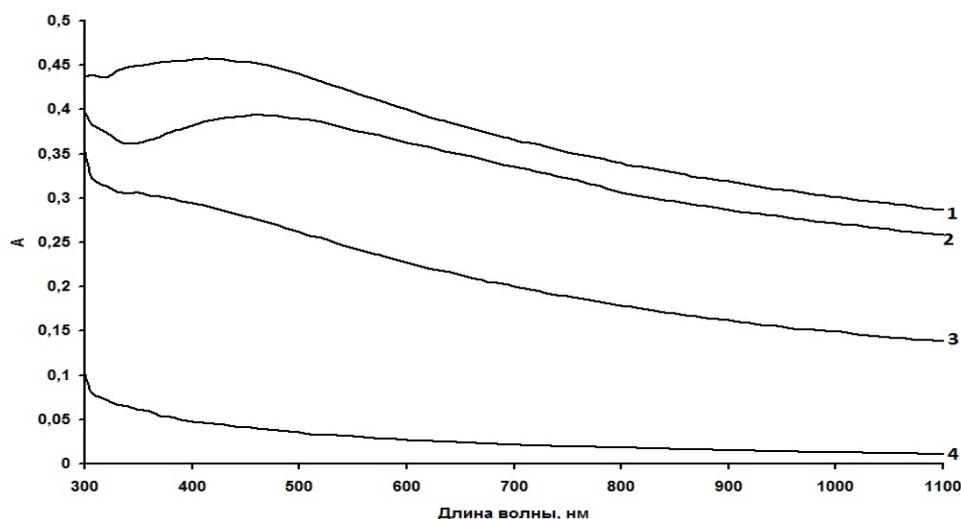


Рис. 1. Спектры поглощения плёнок Cr различной толщины до теплового воздействия:  
1) 45 нм, 2) 39 нм, 3) 18нм, 4) 5нм

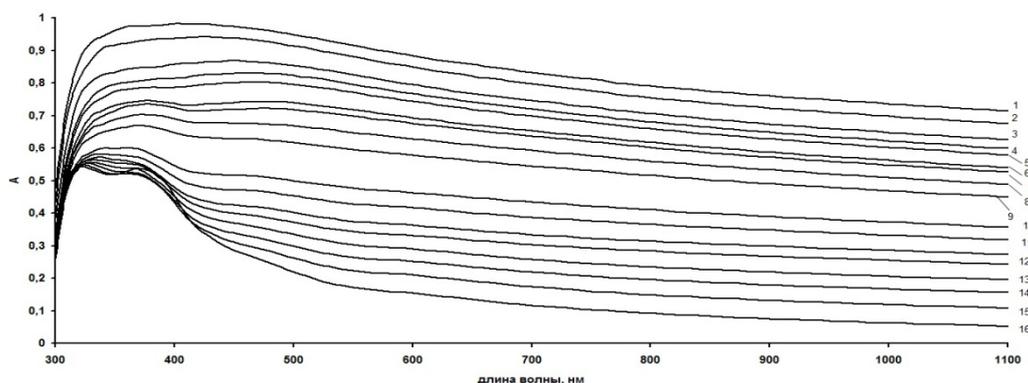


Рис. 2. Спектры поглощения пленки Cd ( $d=94$  нм) до и после теплового воздействия К: 0 мин(1), 0,5мин (2), 5мин(3), 10мин(4), 15мин(5), 30мин (6), 40мин(7), 50мин(8), 60мин(9), 80мин(10), 100мин(11), 130мин(12), 190мин(13), 255мин(14), 420мин(15), 600мин(16)

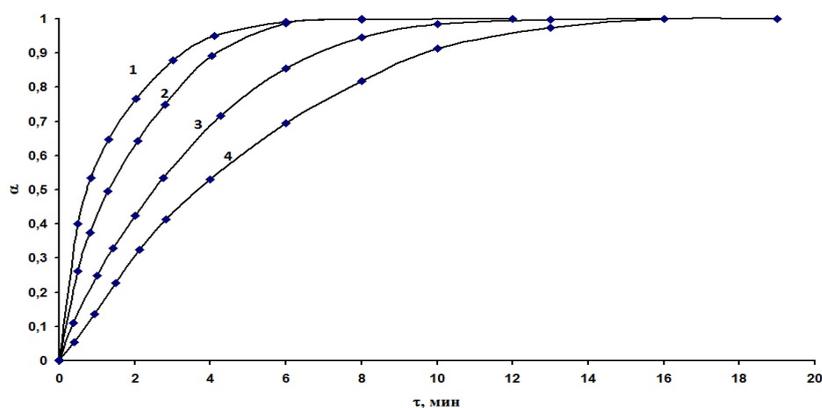


Рис. 3. Зависимость степени превращения Cd от толщины пленок при термообработке при температуре  $T = 673$  К: 1) 5 нм, 2) 9 нм, 3) 21 нм, 4) 32 нм

#### Литература.

1. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84. № 2. С. 307.
2. Э. П. Суrowой, Л.Н.Бугерко, В.Э.Суrowая и др. соавт., Русс. Ж. Физ. Химии. Хим. С. 86, 621 (2012).
3. Борисова, Н. В. Методы исследования неорганических материалов: учебное пособие// Н. В. Борисова, Л. Н. Бугерко, С. М. Сирик, Э. П. Суrowой, И. В. Титов: ГОУ ВПО «КемГУ». – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2008. - 182 с.
4. Э.П.Суrowой и С.В. Бин, Русс.Журнал Физической химии, Химия, с.87,473(2013)
5. Борисова Н.В., Суrowой Э.П. // Коррозия: материалы, защита. 2007. № 6. С. 13.
6. Э. П. Суrowой, Л.Н.Бугерко, В.Э.Суrowая. Русс. Ж. Физ. Химии. Хим. С. 86, 621 (2013).

### ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ И ОПЫТЫ С НЕЙ

*А.А. Ёрматов, ст. гр.10А41, Л.Г. Деменкова, ст. преп.,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62  
E-mail:lar-dem@mail.ru*

Одним из самых интенсивно развивающихся направлений современной науки является нанохимия магнитных материалов. Явление магнетизма известно человеку с давних пор, однако, именно магнитный феномен нанообъектов сейчас – одна из самых обсуждаемых тем в научных журналах. Магнитные нанообъекты, к которым относятся и магнитные жидкости (МЖ), как оказалось по результатам исследований [2, 5], могут нести в себе огромные возможности для перспектив-

ного применения в различных отраслях промышленности. Цель нашего исследования – получить магнитную жидкость и изучить её свойства. Для этого нами был проведён обзор литературных источников по данному вопросу [1-9], руководствуясь которыми, мы выбрали оптимальный способ получения магнитной жидкости.

МЖ представляет собой золь, коллоидный раствор, мицеллы которого образованы ферромагнитными наночастицами, распределёнными в воде или каком-либо органическом растворителе (керосине, эфирах). Наночастицы состоят из магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) или феррита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с оксидами других металлов – марганца, никеля, кобальта, цинка). В качестве стабилизатора золя используют растворы поверхностно-активных веществ (например, олеиновую кислоту), препятствующих коагуляции золя и его расслоению. Адсорбируясь на поверхности дисперсных наночастиц, поверхностно-активные вещества образуют защитное покрытие, являющееся своеобразным барьером [1], благодаря чему МЖ не расслаивается и сохраняет свои свойства неограниченный период времени. Изучение МЖ имеет огромное значение, т.к. обуславливает решение фундаментальных проблем в физике и химии, а также практическое значение в технике, способствуя использованию МЖ в промышленности [2, 6, 7, 9]. Достижения в области исследования МЖ стали реальными только при применении комплекса методов ряда наук – математической статистики, химической термодинамики, механики, оптики и магнетизма [1,2].

Впервые МЖ были получены ещё в 1963 г. в США, однако только в настоящее время благодаря изучению их свойств значительно возрос спрос на них. В СССР исследование получения и областей применения магнитных жидкостей началось с работ Д.В. Орлова.

Физико-химические свойства МЖ определяются особенностями её составных частей (дисперсной фазы, дисперсионной среды, стабилизатора), которые можно значительно изменять в зависимости от потребностей. Своеобразие МЖ заключается в сочетании высокой текучести и намагниченности – в десятки тысяч раз большей, чем у обычных жидкостей [5, 6], т.к. каждая наночастица представляет собой постоянный магнит. Под действием теплового движения частицы перемещаются беспорядочно, а под действием магнитного поля происходит ориентация магнитных моментов частиц, при этом изменяются реологические свойства золя. Такое поведение может позволить применять МЖ в прикладных задачах. Ещё одним интересным свойством МЖ является способность выталкивать тела с большей плотностью на поверхность при действии внешнего магнитного поля. Кроме того, МЖ могут иметь разный цвет, что позволяет использовать их в качестве магнитных красителей, и уже разработаны принтеры, где струя чернил отклоняется под действием магнита, образуя рисунки [6].

Важной областью применения МЖ является машиностроение. Магнитные смазки на основе МЖ являются более эффективными, т.к. размеры частиц очень маленькие, а кроме того, МЖ не вытекает из промежутков между трущимися деталями и может выталкивать загрязнения, являющиеся, как правило, немагнитными материалами. Очень перспективно применение МЖ для уплотнения зазоров между вращающимися деталями – втулками, валами, т.к. обеспечивает высокую герметичность.

Как показал обзор литературных источников [1-9], несмотря на активное изучение МЖ, пока ещё не предложены доступные высокопроизводительные методы их получения. Учитывая, что МЖ представляет собой коллоидный раствор, для её получения надо размельчить частицы дисперсной фазы до наноразмеров и обеспечить их стабилизацию в дисперсной фазе. Установлено [5], что коагуляция не происходит, если частицы дисперсной фазы имеют размеры 500 – 2000 нм. Добиться такой дисперсности можно двумя способами: либо размельчая крупные частицы, либо агрегируя молекулы. Кроме того, в процессе получения МЖ важно, чтобы мелкие частицы не вступили в какие-либо химические реакции, поэтому необходимо минимизировать их контакты с окружающей средой. Диспергирование частиц дисперсной фазы осуществлялось при помощи, как механических мельниц, так и ультразвука, электроплазменного измельчения, электрораспыления, однако при этом не была достигнута нужная степень дисперсности. Кроме того, процессы оказались сложными, длительными и трудозатратными [4].

Более продуктивным оказалось использование методов конденсации – агрегации молекулярных частиц до коллоидной дисперсности. В карбонильном методе используется реакция разложения карбониллов металлов, при этом образуется очень чистый высокодисперсный продукт, например:  $\text{Fe}(\text{CO})_5 \rightarrow \text{Fe} + 5\text{CO}$ . Электролитическая конденсация проводится путём электролиза растворов солей металлов. Вакуумная конденсация паров металла также позволяет получить неплохие результаты.

Химическая конденсация магнетита была предложена ещё в 1938 г. В. С. Элмором [1]. Метод основан на реакции:  $2\text{FeCl}_3 + \text{FeCl}_2 + 8\text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4\downarrow + 8\text{NaCl} + 4\text{H}_2\text{O}$ , проводимой при

нагревании. Впоследствии метод был модифицирован [7]: вместо гидроксида натрия стали использовать гидроксид аммония, что позволило снизить температуру реакции. Полное осаждение образующихся частиц магнетита происходит только при достаточно большом, полуторакратном избытке осадителя. Таким образом, сущность метода химической конденсации магнетита заключается в его осаждении из солей железа (II) и (III) избыточным количеством раствора гидроксида аммония. Полученный осадок магнетита имел дисперсность порядка 10 нм, по своим магнитным свойствам образец приближался к монокристаллам магнетита  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  [7]. В настоящее время способами получения МЖ являются разнообразные комбинации вышеперечисленных методов, приводящие к получению стабильных МЖ [1].

Для получения МЖ в наших условиях был использован метод химической конденсации, основанный на реакции взаимодействия солей железа (II) и (III) с гидроксидом аммония. Модифицируя методики, описанные в литературе [1-2] за счёт применения сульфата аммония-железа (III)  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ , а также изменив время выдержки на магните, мы получили стабильную МЖ (золь магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , в котором дисперсионной средой является вода, а также глицерин). В качестве стабилизатора использовали олеаты натрия и калия. Нами установлено, что МЖ, обладающая хорошими магнитными свойствами, получается без прогревания исходной смеси с поверхностно-активными веществами, а также стадия выдерживания продукта реакции на магните может быть значительно сокращена. Были исследованы некоторые физико-химические свойства полученной МЖ. При изучении её оптических свойств путём рассмотрения явления опалесценции мы подтвердили наличие наночастиц, т.к. в полученном золе наблюдался конус Тиндала. Кроме того, мы наблюдали движение магнитной жидкости в постоянном магнитном поле, смоделировали поведение МЖ как высокоэффективной магнитной смазки. Мы изучили возможность направленного изменения свойств других материалов путём их обработки магнитной жидкостью на примере бумаги, ваты, различных видов тканей, древесного шпона. Выяснено, что наилучшими магнитными свойствами обладает магнитный материал на основе бумаги и ткани. Поведение магнитной жидкости в магнитном поле представлено на рис. 1



Рис. 1. Поведение магнитной жидкости в магнитном поле [1]

Таким образом, МЖ – это перспективный материал, обладающий интересными реологическими и магнитными свойствами, который в недалёком будущем, по нашему мнению, будет широко использоваться в промышленности, особенно в машиностроении. МЖ объединяют все достоинства жидкостей (небольшой коэффициент трения, высокая проницаемость, способность к смачиванию) и магнитных твёрдых тел (способность удерживаться в определённом месте под действием магнитного поля). Проблема получения МЖ и их использования заслуживает дальнейшего рассмотрения и активного изучения.

Дальнейшая работа по данной тематике будет проводиться в направлении изучения других химических реакций, дающих удовлетворительные результаты для получения магнитной жидкости, а также подбор различных стабилизаторов, позволяющих предотвратить расслоение МЖ на дисперсную фазу и дисперсионную среду.

Литература.

1. Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г. Получение магнитной жидкости и её использование в машиностроении /Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов Всероссийской

- ской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. – Томск, 2014. – С. 203-205.
2. Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г. Магнитная жидкость – наноматериал для машиностроения / Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014). Материалы Международной научной конференции молодых ученых. – Томск, 2014. – С. 631-635.
  3. Контарев А.В. Применение магнитных жидкостей / А.В. Контарёв, С.В. Стадник, В.А. Лешуков // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 10. – С. 67-70.
  4. Сенатская И.И. Жидкость, которая твердеет в магнитном поле / И.И. Сенатская, Ф.С. Байбуртский // Химия и жизнь. – 2012. – №10. – С. 43-47.
  5. Магнитные жидкости – технология будущего? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nanometer.ru/046.htm>, свободный.
  6. Магнитные жидкости [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/МАГНИТНЫЕ.htm](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/МАГНИТНЫЕ.htm), свободный.
  7. С. Пайпелл. Маловязкая магнитная жидкость, полученная коллоидной подвеской магнитных частиц [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://khd2.narod.ru/technol/magliq.htm>, свободный.
  8. Важнейшие научные результаты физики и химии наноматериалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ftiudm.ru/component/option.com\\_remository.htm](http://ftiudm.ru/component/option.com_remository.htm), свободный.

#### ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЁНОК GA ПОСЛЕ СВЕТОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Е.А. Кривошекова, студент, С.В. Журавлева, учебный мастер,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,  
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6  
E-mail: epsur@kemsu.ru*

Субмикронные и наноразмерные пленки металлов, оксидов металлов в настоящее время широко применяются в качестве конструкционных элементов и функциональных слоев в современных электронных устройствах, деталях авиакосмической техники, в качестве твердых износостойких покрытий.

Галлий (Ga) – превосходный смазочный материал. На его основе созданы практически все самые важные металлические клеи. Металлическим галлием также заполняют кварцевые термометры для измерения высоких температур. Исследование оптических свойств наноразмерных пленок Ga имеет большое значение из-за своего широкого использования в современной промышленности. Поэтому этот металл хорошо применяется в стекольной и керамической промышленности. В настоящее время в различных областях науки и техники актуальное применение находят ультратонкие металлические пленки и многослойные пленочные структуры наноразмерной толщиной. Это обусловлено тем, что указанные объекты обладают рядом уникальных свойств, нехарактерных для материалов в массивном состоянии, что вызывает большой интерес к ним со стороны как исследователей, так и разработчиков современной аппаратуры [1-3].

Целью настоящей работы являлось исследование природы и закономерностей изменения оптических свойств наноразмерных плёнок галлия с различным соотношением толщины подслоев.

Образцы готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) на установке «ВУП-5М» путем нанесения тонкой пленки галлия с различной толщиной на стеклянные подложки. Подложки подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей мыльной воде, промывали в дистиллированной воде и сушили [1-3]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 – 1100 нм. Толщину пленок, наносимых веществ определяли спектрофотометрическим методом. Образцы подвергали световому воздействию полным спектром ртутной лампы ДРТ – 250. Регистрацию эффектов до и после светового воздействия осуществляли спектрофотометрическим методом в диапазоне длин волн 190 – 1100 нм, используя спектрофотометр «ShimadzuUV-1700».

В результате исследований оптических свойств тонких слоев Ga, нанесенных на стеклянные подложки, прежде всего было установлено, что спектры поглощения и отражения пленок до светового воздействия существенно зависят от их толщины (рис. 1). Видно, что на спектрах поглощения наблюдаются характерные для галлия полосы поглощения. По мере увеличения толщины оптическая плотность наноразмерной пленки галлия в исследованном диапазоне длин волн возрастает.

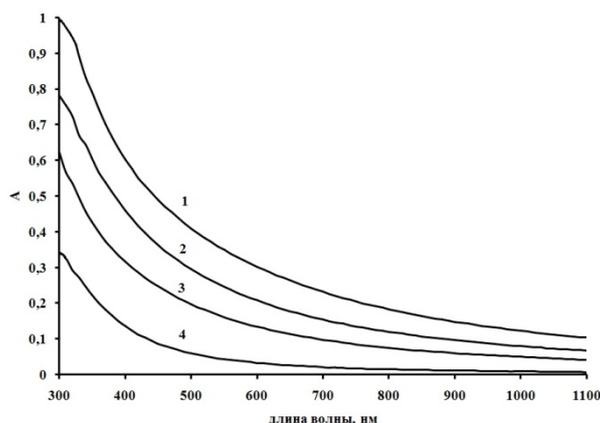


Рис. 1. Спектры поглощения пленок галлия толщиной: 1-15 нм, 2-10 нм, 3-6 нм, 4-2 нм

Установлено, что при воздействии света на наноразмерные пленки галлия спектры поглощения претерпевают заметные изменения. На рис. 2 приведены спектры поглощения пленок галлия толщиной  $d = 4$  нм до и после светового воздействия. Видно, что в результате световой обработки наблюдается увеличение значений оптической плотности образца в интервале  $\lambda = 300-1100$  нм.

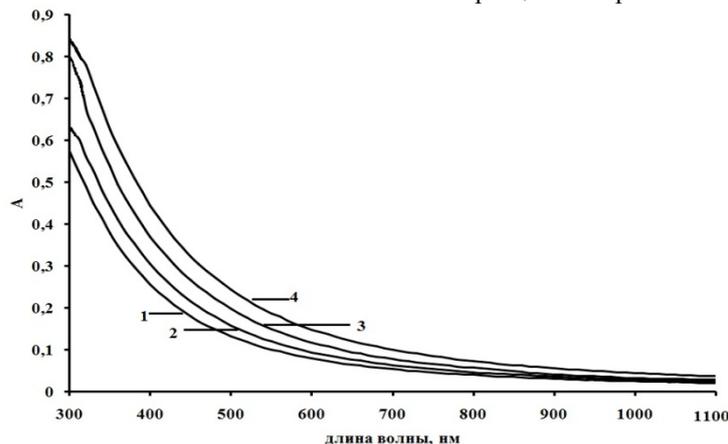


Рис. 2. Спектры поглощения пленки Ga ( $d = 4$  нм) до и после светового воздействия: 1-1 мин, 2-120 мин, 3- 660 мин, 4-1260 мин

Для выяснения закономерностей фотостимулированных превращений пленок галлия (используя результаты измерений спектров поглощения и отражения пленок свинца разной толщины до и после облучения образцов светом) были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения  $\alpha = f(\tau)$  [1-3].

Кинетические кривые степени термического превращения пленок галлия разной толщины условно можно разбить на несколько участков: линейный ( $\alpha = K\tau + A$ ), обратный логарифмический ( $K/\alpha = B - \lg\tau$ ), параболический ( $\alpha^2 = K\tau + B$ ) и логарифмический ( $\alpha = K \lg(B\tau + 1)$ ), где  $K$  – константа скорости формирования оксида галлия (III),  $A$  и  $B$  – постоянные интегрирования,  $\tau$  – время взаимодействия [4].

Литература.

1. Суrowой Э.П., Бин С.В. Термические превращения в наноразмерных системах Pb -  $WO_3$  // Журн. физ. Химии. 2012. Т. 86. № 2. С. 337-343.
2. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2012. Т. 86. № 4. С. 702-709
3. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы индий – оксид индия (III) // Неорганические материалы. 2012. Т. 48. №. 7. С. 819-824.
4. Суrowой Э.П., Сухорукова А. А., Бин С.В. Закономерности формирования наноразмерных систем галлий-оксид галлия // Неорганические материалы. 2014, Т. 50, №. 12, С. 1287–1292.

## ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЁНОК Ga

*А.В. Мишкин, студент; С.В. Журавлева, учебный мастер  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,  
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6  
E-mail: epsur@kemsu.ru*

Получение наноразмерных слоев различных материалов, выяснение природы и закономерностей процессов, протекающих под действием различных энергетических факторов, представляют значительный интерес для физики и химии твердого состояния.

Галлий (Ga) благодаря низкой температуре плавления и высокой температуре кипения обычно используется для изготовления высокотемпературных термометров и манометров, электроплавких предохранителей и пожарных сигналов. Галлий также применяется в стекольной и керамической промышленности, причем галлиевые оптические зеркала отличаются высокой отражательной способностью и устойчивы при высоких температурах.

Галлий и оксид галлия (III) благодаря комплексу положительных свойств (способность к растворению значительного количества других металлов, низкая упругость пара при  $T=1100 - 1200$  К, жидкое состояние в интервале температур (303 – 2573 К), увеличение объема при затвердевании, большая ширина запрещенной зоны, малые токи утечки, большие значения диэлектрической проницаемости, высокое удельное сопротивление и др.) широко применяются во многих областях науки, техники, промышленности

Исследование оптических свойств наноразмерных пленок Ga имеет большое значение из-за широкого использования в различных областях техники и промышленности. [1, 2, 3].

Изучение закономерностей процессов в наноразмерных слоях галлия и на его поверхности, представляется необходимым для выяснения степени общности процессов, протекающих на границе между металлом, оксидом и окружающей атмосферой [4], а также в связи с разработкой принципиально новых материалов, стабильных в условиях коррозионного воздействия окружающей среды.

Целью исследовательской работы является выяснение закономерностей процессов, протекающих в условиях атмосферы в наноразмерных пленках галлия при воздействии на них светом.

В качестве подложек для приготовления образцов использовали предметные стекла. Чистота поверхности подложки является решающим фактором для выращивания и адгезии пленок. Хорошо очищенная подложка является необходимым предварительным условием для получения пленок с воспроизводимыми свойствами. Остающиеся после изготовления и упаковки волокна, отпечатки пальцев, масло и частицы, осажденные из воздуха, являются примерами часто встречающихся загрязнений. Следовательно, необходимо распознавать загрязнения и эффективно их удалять.

Процесс очистки подложки требует, чтобы были разорваны связи, как между молекулами самой примеси, так и между молекулами примеси и подложкой. Это может быть достигнуто химическими средствами, например, очисткой растворителем. Реагентами, используемыми для очистки подложек, служат водные растворы кислот и щелочей, а также такие органические растворители, как спирты, кетоны и хлористые углеводороды. Эффект очистки кислотами обусловлен превращением некоторых окислов и жиров в растворимые в воде соединения. Щелочные реагенты растворяют жиры омылением, что делает их смачиваемыми в воде.

Процедуру очистки проводили следующим образом. В моей работе подложками служили стекла (ГОСТ 9284 59), которые для начала тщательно моем хозяйственным мылом с помощью щеточки:

- Стекла опускаем в концентрированную азотную кислоту ( $\text{HNO}_3(\text{конц})$ , 72%) на 10 минут, периодически помешивая стеклянной палочкой. Через 10 минут азотную кислоту сливаем, а стекла промываем дистиллированной водой.

- Помещаем стекла в хромовую смесь и оставляем на 10 минут, периодически помешивая. Через 10 минут хромовую смесь сливаем.

- Стекла ополаскиваем водой и моем хозяйственным мылом с помощью щеточки.

- Чистые стекла помещаем в стакан с дистиллированной водой и ставим на плитку (кипятим 5-7 минут).

- При доставании стекол, для избавления от капель воды, сушим их на пару.

- Проводим измерение поглощательной и отражательной способности чистых стекол.

В результате исследования оптических свойств наноразмерных пленок галлия до, в процессе и после светового воздействия в атмосферных условиях, прежде всего, было установлено, что спектры поглощения и отражения зависят от первоначальной толщины пленок галлия и от времени воздействия.

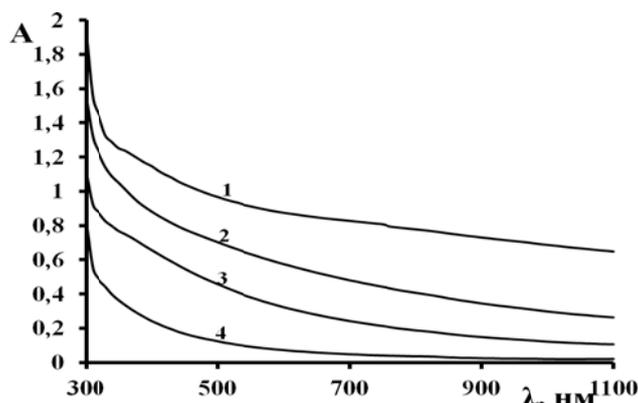


Рис. 1. Спектры поглощения пленок галлий толщиной: 1-42, 2-28, 3-15, 4-3 нм

На рис. 1 представлены спектры поглощения пленок галлия толщиной  $d=3\dots 42$  нм до светового воздействия.

В результате световой обработки пленок галлия разной толщины в атмосферных условиях спектры поглощения и отражения образцов претерпевают существенные изменения. Причем, наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения после обработки образцов в значительной степени зависят от первоначальной толщины пленок галлия и времени светового воздействия.

Исходя из полученных результатов (измерений спектров поглощения и отражения пленок галлия разной толщины до и после светового воздействия) были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения ( $\alpha = f(\tau)$ ).

При этом воспользовались уравнением предложенным в [5]

$$\alpha = (A_{\text{Ga}}^1 - A_{\text{обр}}) / (A_{\text{Ga}}^1 - A_{\text{Ga}_2\text{O}_3}^1),$$

где  $A_{\text{Ga}}^1$ ,  $A_{\text{Ga}_2\text{O}_3}^1$  – предельные значения оптической плотности пленок галлия и оксида галлия (III) при  $\lambda = 720$  нм;  $A_{\text{обр}}$  – оптическая плотность пленки галлия.

Кинетические кривые степени превращения пленок галлия разной толщины условно можно разбить на несколько участков: линейный ( $\alpha = K\tau + A$ ), обратный логарифмический ( $K/\alpha = B - \lg\tau$ ), параболический ( $\alpha^2 = K\tau + B$ ), и логарифмический ( $\alpha = K \lg(B\tau + 1)$ ) где  $K$  – константа скорости формирования оксида галлия (III),  $A$  и  $B$  – постоянные интегрирования,  $\tau$  – время взаимодействия.

Литература.

1. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М.: Физматлит, 2009. - 414 с.
2. Химия и технология галлия. Иванов Р.В. М.: Металлургия, 1973. -392с.
3. Борисова, Н. В. Методы получения, применение и исследование тонкослойных неорганических материалов: Учебное пособие / Н. В. Борисова, Л. Н. Бугерко, Э. П. Суровой, И. В. Титов; ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет». Кемерово: Кузбассвузиздат, 2006. - 140с..
4. Суровой Э.П., Сухорукова А. А., Бин С.В. Закономерности формирования наноразмерных систем галлий-оксид галлия // Неорганические материалы. 2014, Т. 50, №. 12, С. 1287-1292.
5. Суровой Э.П., Сухорукова А.А., Бин С.В. Закономерности формирования наноразмерных систем кобальт-оксид кобальта // Неорганические материалы. 2014. Т. 50. №4. С 436-441.

### ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ СО - MoO<sub>3</sub>

*Т.С. Оюн, студент, С.В. Журавлева, учебный мастер,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,  
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6  
E-mail: epsur@kemsu.ru*

В настоящее время в различных областях науки и техники широкое применение находят ультратонкие металлические пленки и многослойные пленочные структуры наноразмерной толщиной. Это обусловлено тем, что указанные объекты обладают рядом уникальных свойств, нехарактерных для материалов в массивном состоянии, что вызывает большой интерес к ним со стороны как исследователей, так и разработчиков аппаратуры [1-3].

Использование нанопленок в промышленности, электронике и химии привлекают внимания ученых всего мира. Полупроводниковые пленки могут использоваться для изготовления различных микросхем, транзисторов, газовых датчиков и т.д. Способность сохранять магнитные свойства после однократного намагничивания свойственна лишь немногим металлам, в том числе и кобальту. Поэтому магнитные нанопленки на основе кобальта находят широкое применение при создании спинтронных наносистем. Наибольшее распространение получили магниторезистивные структуры, обладающие эффектом гигантского магнитного сопротивления. Их используют для создания высокочувствительных датчиков магнитного поля, способных реагировать на его ничтожно малое изменение [4].

Кобальт благодаря комплексу положительных свойств (легирующий металл, высокая температура плавления (1768 К), и высокая температура кипения (3143 К), а также кобальт является ферромагнетиком с точкой Кюри 1394 К) широко применяется для изготовления различных микросхем, транзисторов, газовых датчиков и т.д..

Магнитные пленки кобальта находят широкое применение при создании спинтронных наносистем. Наибольшее распространение получили магниторезистивные структуры, обладающие эффектом гигантского магнитного сопротивления (ГМС). Их используют для создания высокочувствительных датчиков магнитного поля, способных реагировать на его ничтожно малое изменение.

В атмосферных условиях при контакте с окружающей средой компактный кобальт устойчив, при нагревании выше 473 К покрывается оксидной пленкой. С парами воды, содержащимися в воздухе, водой, растворами щелочей и карбоновых кислот кобальт не взаимодействует. Концентрированная азотная кислота пассивирует поверхность кобальта, как пассивирует она и поверхность железа [5].

Трехокись молибдена  $\text{MoO}_3$  - бесцветные кристаллы с зеленоватым оттенком.  $\text{MoO}_3$  используется для получения молибдена (его сплавов, многих других соединений молибдена, применяется как составная часть керамических глин, глазурей, эмалей, красителей.  $\text{MoO}_3$  – довольно распространенный катализатор и применяется в процессах окисления ароматических и гетероциклических углеводородов и некоторых других каталитических реакциях. Его используют в качестве катализатора в органическом синтезе, при переработке нефти (крекинг, гидроочистка, риформинг), он добавляется в качестве присадки к моторным маслам. Оксид молибдена (VI), нанесенный на различные носители (диоксид титана, кремнезем), вызывает фотостимулированную конверсию метана и метансодержащих газовых смесей (в различных газовых композициях) с достаточно высоким выходом метанола, формальдегида,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ .

Наноразмерные слои оксида молибдена (VI) могут быть использованы при создании термодатчиков, сенсоров для контроля содержания окислов азота в атмосфере, информационных устройств с большим объемом памяти и др. Триоксид молибдена проявляет электрохромные и термохромные свойства [6-7]. На основе электрохромного эффекта становится возможным создание устройств, которые кроме визуализации электрических сигналов, могут быть использованы для управления интенсивностью световых потоков, для записи и регистрации информации светом или визуализации инфракрасного, ультрафиолетового и рентгеновского излучений.

В настоящей работе представлены результаты исследований, направленных на выявление закономерностей изменения оптических свойств наноразмерных пленок оксида молибдена (VI) в процессе термообработки.

Методами оптической спектроскопии исследованы закономерности изменения оптических свойств (поглощение, отражение) системы кобальт – оксида молибдена (VI) при температуре 673 К в атмосферных условиях

Целью работы является установление закономерностей изменения оптических свойств (поглощение, отражение) системы кобальт – оксида молибдена (VI) ( $\text{Co} - \text{MoO}_3$ ) при температуре 673 К в атмосферных условиях.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких ( $d(\text{Co}) = 8$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 1$  нм) пленок кобальта, оксида молибдена на подложки из стекла (ГОСТ 9284 – 59), используя вакуумный универсальный пост “ВУП-5М”. Подложками служили стекла, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей мыльной воде, промывали в дистиллированной воде и сушили [8-9]. Толщину пленок определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр “Shimadzu UV-1700”) методом [10].

Образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры (673 К) фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в течение 1–7 мин. в муфельной печи “Тулячка - 3П”.

Регистрацию эффектов до и после термической обработки исследуемых образцов осуществляли спектрофотометрическим (используя спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») методами.

В результате исследования оптических свойств системы кобальт – оксид молибдена было установлено, что в результате термической обработки системы кобальт – оксид молибдена при температуре  $T = 673$  К в атмосферных условиях спектры поглощения и отражения претерпевают существенные изменения.

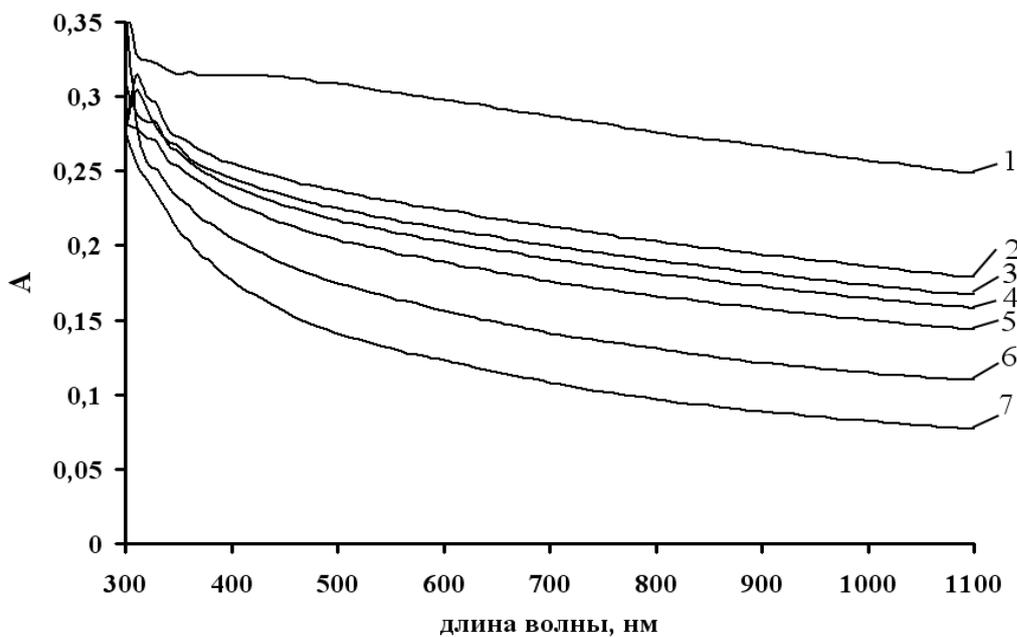


Рис. 1. Спектры поглощения системы Co – MoO<sub>3</sub> (d (Co) = 8 нм, d (MoO<sub>3</sub>) = 1 нм) до (1) и после термической обработки при  $T = 673$ : 2-0,5 мин; 3-1 мин; 4-2 мин; 5-3 мин; 6-5 мин; 7-7 мин

На рис. 1 приведены спектры поглощения системы кобальт – оксида молибдена (VI) (d (Co) = 8 нм, d (MoO<sub>3</sub>) = 1 нм) до и после термической обработки при 673 К. Видно, что в результате термической обработки наблюдается уменьшение значений оптической плотности образца в интервале  $\lambda = 190 \dots 1100$  нм.

Литература.

1. Суrowой Э.П., Бин С.В. Термические превращения в наноразмерных системах Pb - WO<sub>3</sub> // Журн. Физ. Химии. 2012. Т. 86. № 2. С. 337-343.
2. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. Физ. Химии. 2012. Т. 86. № 4. С. 702-709
3. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы индий – оксид индия (III) // Неорганические материалы. 2012. Т. 48. №. 7. С. 819-824.
4. Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия. – М.: Изд-во Мир. 1972. Т. 2. - 872 с.
5. Химический энциклопедический словарь // ред. И.Л. Кнунянц. – М.: Большая Российская энциклопедия. 2003. – 792 с
6. Оксидные электрохромные материалы.// Рига: ЛГУ им. П.Стучки, 1981. - 156 с.
7. Лусис, А.Р. Электрохимические процессы в твердотельных электрохромных системах // Электрохимия. - 1982. - Т. 18. - № 11. - С. 1538-1541.
8. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. Термостимулированные превращения в наноразмерных системах Bi – MoO<sub>3</sub> // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 5. С. 842–848.
9. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. Кинетика фотостимулированных превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 9. С. 1565–1571.
10. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. Термические превращения в наноразмерных слоях меди // Журн. Физ. Химии. 2010. Т. 84. № 2. С. 307-313.

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК GA

*О.В. Черкасова, студентка, С. В. Журавлева, учебный мастер,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,  
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6  
E-mail: epsur@kemsu.ru*

Изучение закономерностей процессов, протекающих при тепловом воздействии в наноразмерных слоях галлия и на его поверхности, представляется необходимым для выяснения степени общности процессов, протекающих на границе между металлом, оксидом и окружающей атмосферой [1 - 3], а также в связи с разработкой принципиально новых материалов, стабильных в условиях коррозионного воздействия окружающей среды. Галлий применяется для изготовления высокотемпературных термометров (до 1300-1500), специальных оптических зеркал с высокой отражающей поверхностью и некоторых приборов вакуумной техники. Благодаря высокой точке кипения и низкой упругости паров он может использоваться в качестве жидкого затвора в вакуумных аппаратах. Низкая температура плавления, сравнительно высокая температура кипения и благоприятные значения теплопроводности и захвата тепловых нейтронов позволяют использовать галлий и его сплавы в качестве теплообменной среды в ядерных реакторах. Изготовлен, например, сплав галлия (67 %) с индием (20,5 %) и оловом (12,5 %), который даже при комнатной температуре не может остаться твердым: он плавится при 10,6 С. Такие сплавы широко используют в технике, в частности в устройствах пожарной сигнализации.

Целью работы является установление закономерностей процессов, протекающих в условиях атмосферы в наноразмерных пленках галлия различной толщины ( $d = 1 - 14$  нм) в зависимости от времени теплового воздействия (0 - 291 мин) при температуре 573 К в атмосферных условиях.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких (1 - 14 нм) пленок галлия на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». Подложками служили стекла (ГОСТ 9284 - 59), которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей мыльной воде, промывали в дистиллированной воде и сушили [4]. Толщину пленок галлия определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»). Наноразмерные пленки галлия подвергали термической обработке в муфельной печи «Тулячка-3П». При этом образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры ( $T = 573$  К) фарфоровую пластину и подвергали термической обработке, в течение 0 - 291 мин в атмосферных условиях. Регистрацию эффектов до и после термической обработки исследуемых образцов осуществляли спектрофотометрическим методом в диапазоне длин волн 190...1100 нм (используя спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»).

В результате исследования оптических свойств наноразмерных пленок галлия до, в процессе и после теплового воздействия при температуре 573 К в атмосферных условиях, прежде всего, было установлено, что спектры поглощения зависят от первоначальной толщины пленок галлия.

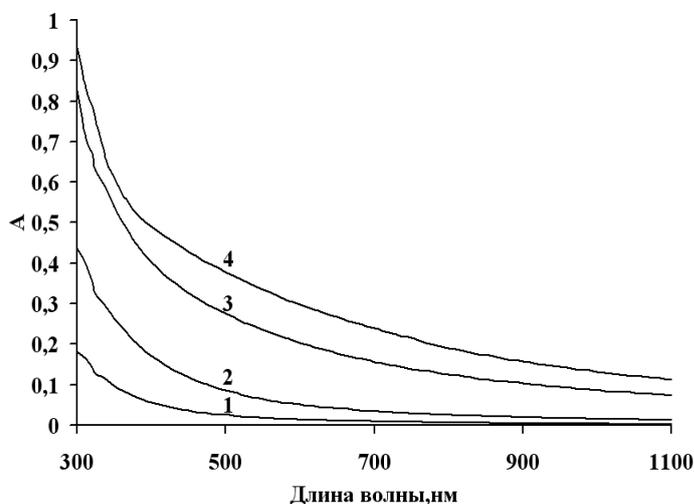


Рис. 1. Спектры поглощения пленок галлия толщиной: 1-1,2-2,3-10,4-14 нм

На рис. 1 представлены спектры поглощения пленок галлия толщиной  $d = 1 \dots 14$  нм.

Видно, что по мере уменьшения толщины пленок галлия на спектрах поглощения постепенно перестают проявляться характерные для галлия полосы поглощения.

В результате термической обработки пленок галлия при температуре  $T = 573$  К в атмосферных условиях спектры поглощения и отражения претерпевают существенные изменения.

В качестве примера на рис. 2 приведены спектры поглощения пленки галлия толщиной 1 нм до и после термообработки при  $T = 573$  К.

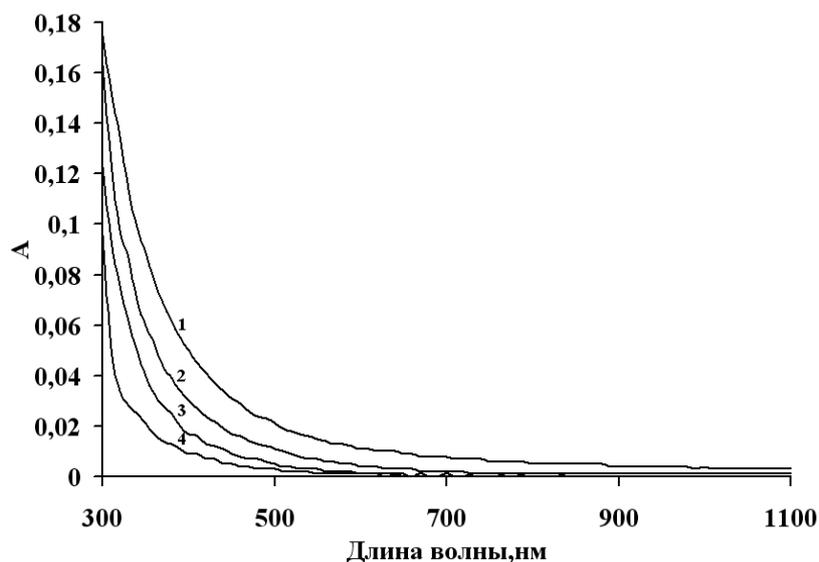


Рис. 2. Спектры поглощения пленок галлия толщиной ( $d=1$  нм) до(1) после предварительной термической обработки при  $T = 573$  К: ; 2 – 6; 3 – 21; 4 – 291 минут

Видно, что термическая обработка приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения пленок галлия толщиной  $d = 1$  нм в интервале  $\lambda = 300 \dots 1100$  нм.

Для выяснения закономерностей процесса взаимодействия пленок галлия с кислородом окружающей среды (используя результаты гравиметрических исследований и измерений спектров поглощения и отражения пленок галлия разной толщины до и в процессе термической обработки образцов при разных температурах) были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения ( $\alpha = f(\tau)$ ). При этом воспользовались уравнением предложенным в [5 – 7]

$$\alpha = (A_{\text{Ga}}^1 - A_{\text{обр}}) / (A_{\text{Ga}}^1 - A_{\text{Ga}_2\text{O}_3}^1),$$

где  $A_{\text{Ga}}^1$ ,  $A_{\text{Ga}_2\text{O}_3}^1$  – предельные значения оптической плотности пленок галлия и оксида галлия (III) при  $\lambda = 720$  нм;  $A_{\text{обр}}$  – оптическая плотность пленки галлия.

Литература.

1. Суrowой Э.П., Сухорукова А. А., Бин С.В. Закономерности формирования наноразмерных систем галлий-оксид галлия // Неорганические материалы. 2014, Т. 50, №. 12, С. 1287–1292.
2. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках никеля // Журн. физ. химии 2014. Т. 88. № 12. С. 1970-1976
3. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. Термостимулированные превращения в наноразмерных системах  $\text{Bi} - \text{MoO}_3$  // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 5. С. 842–848.
4. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. Кинетика фотостимулированных превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 9. С. 1565–1571.
5. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы индий – оксид индия (III) // Неорганические материалы. 2012. Т. 48. № 7. С 819–824.
6. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Термостимулированные превращения наноразмерных систем  $\text{In} - \text{MoO}_3$  // Неорганические материалы. 2013. Т. 49. № 4. С 404–409.
7. Суrowой Э.П., Заиконникова Т.М. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках хрома // Журн. физ. химии. 2014. Т. 88. № 1. С. 86–92.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЕВ Mn И MoO<sub>3</sub> В СИСТЕМАХ Mn-MoO<sub>3</sub>,  
MoO<sub>3</sub>-Mn И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДО И ПОСЛЕ ТЕПЛОВОЙ  
ОБРАБОТКИ ПРИ T=673 K**

*А.А. Залунина, студентка, Е.И. Калабухова, студентка,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»  
г. Кемерово, ул. Красная, 6  
E-mail: mayer\_anechka@mail.ru*

Создание эффективных средств защиты от коррозии является важнейшей проблемой. Марганец, благодаря комплексу положительных свойств, нашел широкое применение в различных областях науки, техники и промышленности. Постановка данных исследований с гетерогенными наноразмерными системами, наряду с их технической актуальностью, может быть полезным инструментом для выяснения механизма процессов превращений в твердых телах [1]. Среди разнообразных неорганических материалов особое место занимает MoO<sub>3</sub> и системы на его основе. MoO<sub>3</sub> применяется в качестве катализатора в органическом синтезе, при переработке нефти (крекинг, гидроочистка, риформинг). Он добавляется в качестве присадки к моторным маслам [2].

В работе представлены результаты исследований, направленные на выяснение закономерностей процессов, протекающих в наноразмерных слоях систем Mn-MoO<sub>3</sub> и MoO<sub>3</sub>-Mn различных толщин до и после термообработки (T = 673 K).

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем последовательного нанесения тонких (0,5 – 24 нм) пленок марганца и триоксида молибдена на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». Подложками служили стекла, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей мыльной воде, промывали в дистиллированной воде и сушили. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 – 1100 нм. Толщину марганцевых пленок определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»), микроскопическим (интерференционный микроскоп «МИИ-4») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами. Образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры (673 K) фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в сушильном шкафу «Гулячка ЗП». Регистрацию эффектов до и после термической обработки образцов осуществляли спектрофотометрическим методом (в диапазоне длин волн 190-1100 нм, используя спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») [4].

В результате исследований оптических свойств наноразмерных двухслойных систем Mn-MoO<sub>3</sub> и MoO<sub>3</sub>-Mn до, в процессе и после термической обработки в атмосферных условиях было установлено, что спектры поглощения и отражения образцов зависят от толщины слоев MoO<sub>3</sub> и Mn, времени термообработки, а также от последовательности нанесения подслоев.

На рис. 1 и 2 представлены спектры поглощения систем Mn-MoO<sub>3</sub> и MoO<sub>3</sub>-Mn с различными толщинами подслоев до термообработки, которые позволяют нам сделать вывод, что спектры поглощения и отражения систем Mn-MoO<sub>3</sub> и MoO<sub>3</sub>-Mn существенно зависят от толщины каждого слоя и порядка нанесения их на подложку.

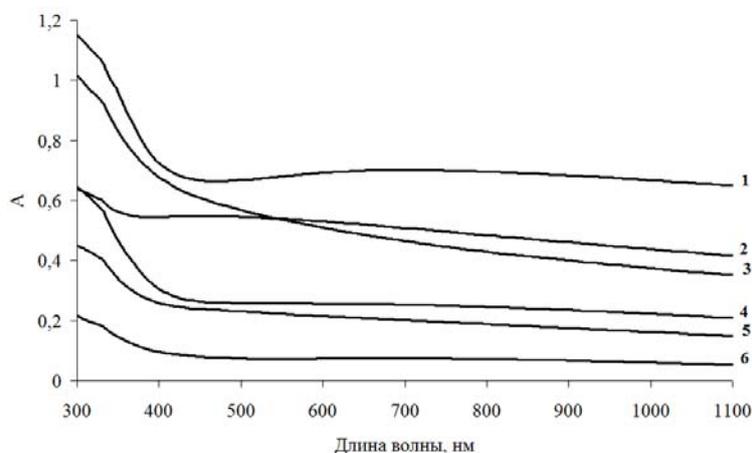


Рис. 1. Спектры поглощения системы Mn-MoO<sub>3</sub> с различной толщиной подслоев: d(Mn) – d(MoO<sub>3</sub>) = 20 – 24 (1), 13 – 10 (2), 11 – 22 (3), 2 – 27 (4), 4 – 19 (5), 3 – 13 (6) нм

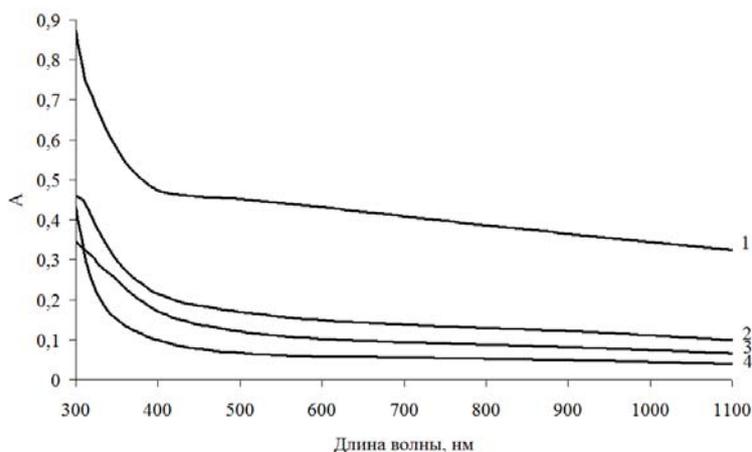


Рис. 2. Спектры поглощения системы  $\text{MoO}_3\text{-Mn}$  с различной толщиной подслоев:  $d(\text{MoO}_3) - d(\text{Mn}) = 24 - 6$  (1),  $27 - 1$  (2),  $19 - 0,5$  (3),  $10 - 0,5$  (4) нм

В результате термической обработки систем  $\text{Mn-MoO}_3$  и  $\text{MoO}_3\text{-Mn}$  (приготовленных из пленок марганца и оксида молибдена (VI) разной толщины) при  $T=673$  К в атмосферных условиях спектры поглощения и отражения образцов существенно изменяются. Причем наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также предельные значения оптической плотности после термической обработки образцов зависят от начальной толщины пленок  $\text{Mn}$  и  $\text{MoO}_3$  и времени термообработки. По мере уменьшения толщины пленок марганца и оксида молибдена (VI) при термообработке ( $T=673$  К) систем  $\text{Mn-MoO}_3$  и  $\text{MoO}_3\text{-Mn}$  эффекты изменения оптической плотности становятся более выраженными.

На рис. 3 представлены спектры поглощения системы  $\text{Mn-MoO}_3$  ( $d_{\text{Mn}} = 11$  нм,  $d_{\text{MoO}_3} = 22$  нм) до и после термической обработки при  $T = 673$  К. Спектры поглощения в значительной степени зависят от толщины контактирующих слоев и последовательности их нанесения. Оптические свойства систем в большей степени определяются толщиной соответствующей пленки ( $\text{Mn}$ ,  $\text{MoO}_3$ ). В частности, на спектрах поглощения системы  $\text{Mn-MoO}_3$  наблюдается максимум оптической плотности при  $\lambda \approx 330 - 400$  нм, характерный для индивидуальных пленок марганца.

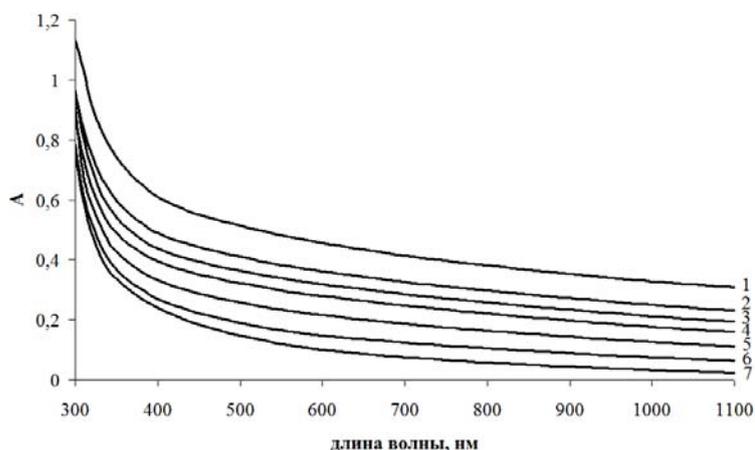


Рис. 3. Спектры поглощения системы  $\text{Mn-MoO}_3$  ( $d_{\text{Mn}} = 11$  нм,  $d_{\text{MoO}_3} = 22$  нм) до (1) и после термообработки при  $T=673$  К: 5 сек (2), 15 сек (3), 30 сек (4), 50 сек (5), 80 сек (6), 140 сек (7)

На рис. 4 приведены спектры поглощения системы  $\text{MoO}_3\text{-Mn}$  ( $d_{\text{MoO}_3} = 19$  нм,  $d_{\text{Mn}} = 4$  нм.) до и после термообработки при  $T=673$  К. Из графика видно, что в длинноволновой области спектра в диапазоне  $\lambda = 420 - 1100$  нм проявляется широкая полоса поглощения с максимумом при  $\lambda = 870$  нм, а в коротковолновой области спектра в диапазоне  $\lambda = 300 - 420$  нм с минимумом при  $\lambda = 350$  нм наблюдается уменьшение оптической плотности.

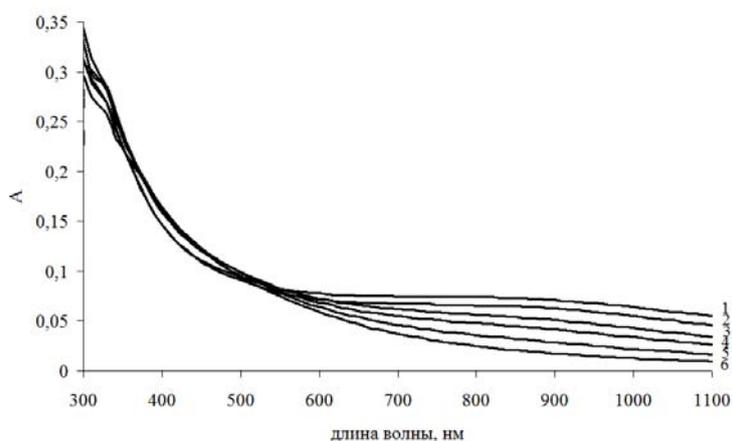


Рис. 4. Спектры поглощения системы  $\text{MoO}_3\text{-Mn}$  ( $d_{\text{MoO}_3} = 19$  нм,  $d_{\text{Mn}} = 4$  нм,) до (3) и после термообработки при  $T=673$  К: 10 сек (1), 20 сек (2), 55 сек (4), 145 сек (5), 375 сек (6)

Для выяснения возможного взаимодействия между пленками марганца и оксида молибдена (VI) в процессе приготовления систем  $\text{Mn-MoO}_3$  были сопоставлены спектры поглощения систем и отдельных пленок  $\text{Mn}$  и  $\text{MoO}_3$ , полученные экспериментальным и расчетным способом. Расчетные считались путем суммирования исходных значений оптической плотности индивидуальных пленок  $\text{MoO}_3$  и  $\text{Mn}$  аналогичной толщины при каждой длине волны. Рассчитанные и экспериментальные спектры поглощения всех исследованных систем  $\text{Mn-MoO}_3$  не совпадают, что показывает на взаимодействие подслоев  $\text{Mn}$  и  $\text{MoO}_3$  друг с другом. Наблюдаемые изменения на экспериментальных спектрах поглощения систем  $\text{Mn-MoO}_3$  по сравнению с рассчитанными связаны с формированием перехода  $\text{Mn-MoO}_3$ .

В качестве примера, на рис. 5 приведены экспериментальные спектры поглощения пленок  $\text{Mn}$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Mn-MoO}_3$  и рассчитанные спектры поглощения пленок  $\text{MoO}_3$ , системы  $\text{Mn-MoO}_3$ .

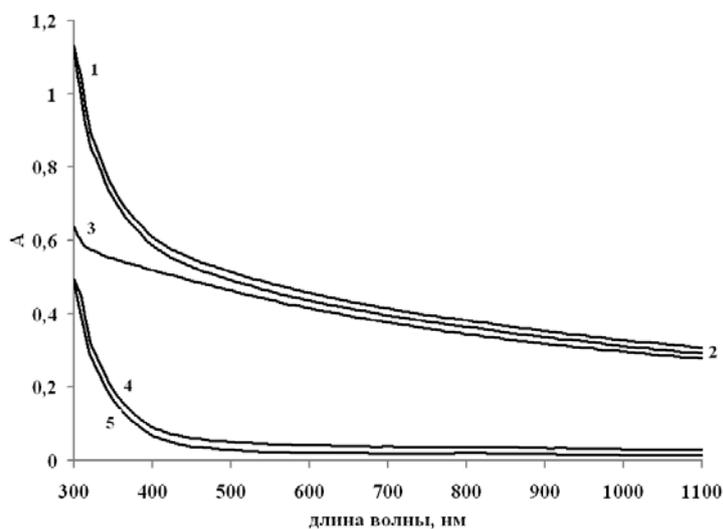


Рис. 5. Экспериментальные (1, 3, 5) и рассчитанные (2, 4) спектры поглощения системы  $\text{Mn-MoO}_3$  (1, 2),  $\text{Mn}$  (3),  $\text{MoO}_3$  (4, 5);  $d(\text{Mn}) = 11$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 22$  нм

#### Литература.

1. Заиконникова, Т.М. Особенности термостимулированных превращений в наноразмерных пленках марганца / Т.М. Заиконникова, Т.Ю. Кожухова // Ползуновский вестник. 2013. №1. С. 91-96.
2. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит, 2009. 414 с.
3. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Термостимулированные превращения наноразмерных систем  $\text{In-MoO}_3$ // Неорган. Материалы. 2013. Т. 49. №4. С. 404-409.
4. Суrowой Э. П., Заиконникова Т.М. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках хрома // Журн. физ. химии. 2014. Т. 88. №1. С. 86-92.

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗРЫВНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ТЕТРАНИТРОПЕНТАЭРИТРИТА С НАНОЧАСТИЦАМИ АЛЮМИНИЯ

И.Ю. Зыков, аспирант, М.В. Ананьева, к.ф.-м.н., с.н.с., О.В. Одинцова, студент,  
Кемеровский государственный университет, г. Кемерово,  
Россия, 650043, г. Кемерово, ул. красная 6, тел. (3842)-31-57-18,  
E-mail: kriger@kemsu.ru

Для повышения безопасности взрывных работ в горнодобывающей промышленности требуется переход к использованию оптических детонаторов [1, 2]. Применение оптических методов инициирования в настоящее время ограничено с двух сторон. С одной стороны – высокими порогами взрывчатого разложения бризантных энергетических материалов, с другой стороны – высокой чувствительностью инициирующих взрывчатых веществ к сопутствующим видам воздействия (повышенная температура, удар, электромагнитное поле) [3]. Одним из перспективных направлений создания капсулей оптических детонаторов является введение в существующие взрывчатые вещества светопоглощающих наночастиц металлов [4]. В работах [5-6] экспериментально определены значения порогов инициирования взрывчатого разложения пентаэритриттетранитрата (тэн) с добавками наночастиц алюминия. Показано, что сенсбилизация бризантного взрывчатого вещества светопоглощающими наночастицами приводит к повышению как минимум в сто раз чувствительности к лазерному воздействию [4-6], при неизменном пороге инициирования ударом. Следовательно, таблетки тэн-алюминий могут быть использованы в качестве капсульных составов для оптических детонаторов, а исследование кинетических закономерностей взрывного разложения этих объектов является актуальным. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование кинетических закономерностей свечения, сопровождающего взрывное разложение прессованных таблеток тэн-алюминий при инициировании импульсом неодимового лазера.

#### Методика эксперимента

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В качестве источника импульсного излучения использовался лазер 1 на иттрий алюминиевом гранате с примесью неодима, работающий в режиме модуляции добротности. Длительность импульса излучения составляла 12 нс, максимальная энергия в импульсе на первой гармонике (1064 нм) – 1.54 Дж [7]. Варьирование плотности энергии осуществлялось с помощью нейтральных 2 и полосовых 3 светофильтров. Для контроля энергии импульса, часть излучения отводилась с помощью призмы Дове 4 на измеритель энергии лазерного импульса 5, в качестве которого использовался колориметр ИКТ-1Н. Формирование пучка с однородным распределением освещенности и резким контрастом на границах достигалось проекционным способом [7-9]. Для этого лазерный пучок через интерференционное зеркало 6 проходил формирующую диафрагму 7 и направлялся на образец поворотным зеркалом 8 через объектив 9 и защитную пластинку 10. Образец 11 помещался на металлическое основание 12. Развитие процесса в наносекундном масштабе времени фиксировалось двумя фотоэлектронными умножителями (ФЭУ) 13 и 14. Фотоэлектронный умножитель панорамного обзора 13 измерял кинетику интенсивности свечения образца через набор нейтральных 2 и полосовых 3 светофильтров со всей экспериментальной ячейки. Использование проекционного способа (14) позволило регистрировать свечение только с участка образца, облучаемого лазерным пучком [10-11]. Измеряемые сигналы поступали на входные каналы цифрового осциллографа 15.

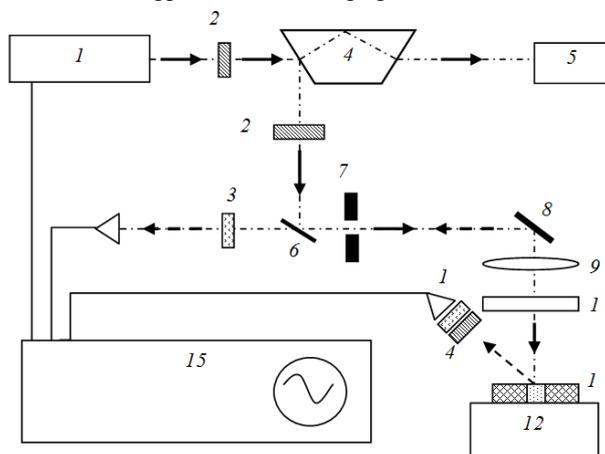


Рис. 1. Схема установки. Обозначения – в тексте. Стрелками показаны пути лазерного луча (сплошные) и свечение образца (пунктир)

На рис. 1 стрелками показан путь лазерного излучения (сплошные) и путь излучения образца (пунктир). Апробация методики при исследовании быстропротекающих процессов в азиды серебра позволила разделить процессы зарождения, распространения реакции и разлета продуктов взрыва, определить время развития реакции в конденсированной фазе [11-12].

В настоящей работе методика применена для исследования процессов взрывчатого разложения прессованных таблеток тэна с добавками наночастиц алюминия 0.1% по массе [13]. Возникающее свечение регистрировалось двумя ФЭУ: панорамного обзора (фиксирующим свечение со всего объема ячейки); зонного обзора (фиксирующим свечение только из зоны облучения). Экспериментальные осциллограммы взрывчатого свечения таблеток проходили компьютерную обработку, в ходе которой определялся индукционный период, и вычислялись эффективные константы свечения. Эффективная константа скорости роста сигнала свечения рассчитывалась при аппроксимировании переднего фронта свечения функцией Гаусса.

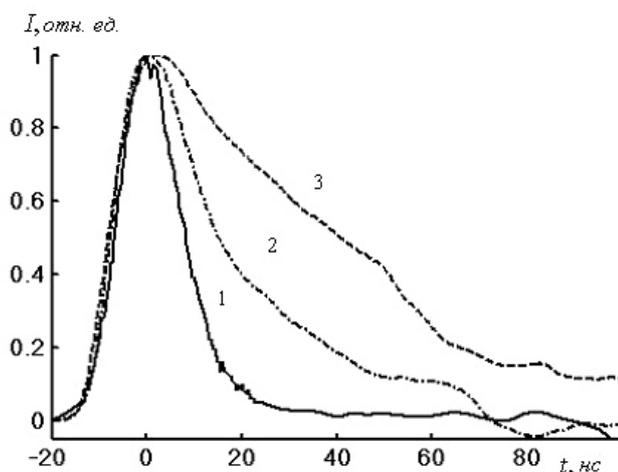


Рис. 2. Сигналы свечения прессованных таблеток тэн – алюминий, инициированные импульсом в допороговом режиме. 1 - инициирующий импульс, 2 - ФЭУ панорамного обзора, 3 - ФЭУ зонного обзора

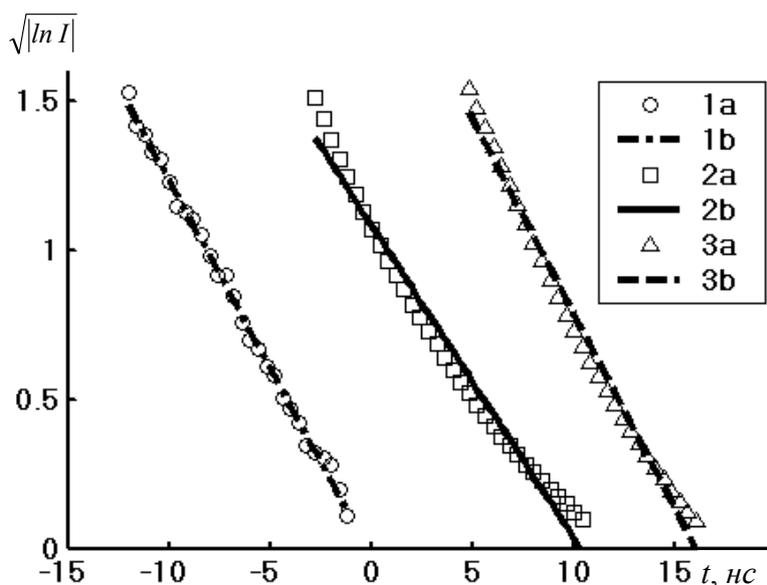


Рис. 3. Передние фронты сигналов свечения в допороговом режиме в координатах функции ошибок (без синхронизации). 1 – инициирующий импульс, 2 – сигнал ФЭУ панорамного обзора, 3 – сигнал ФЭУ зонного обзора. а – эксперимент, b – линейная аппроксимация

### Результаты эксперимента

При облучении прессованных таблеток тэн-алюминий, накрытых стеклянной пластиной, импульсом с плотностью энергии меньшей  $1 \text{ Дж/см}^2$  взрывного разложения не наблюдалось. Используемой плотности энергии достаточно для начала растрескивания образцов и выброса части вещества образца с образованием каверны. На рис. 2 приведена типичная осциллограмма свечения при отсутствии взрывного разложения. Кривые имеют один максимум, передние фронты всех трех кривых совпадают, следовательно, интенсивность свечения пропорциональна поглощаемой интенсивности импульса. На рис. 3 представлены передние фронты кинетических зависимостей свечения в координатах функции ошибок. Из рисунка следует, что сигнал импульса хорошо аппроксимируется данной функцией, что обосновывает ее использование при теоретическом анализе. Описание сигналов свечения удовлетворительное, и эффективные константы скорости, равные наклону кривых в данных координатах, использовались в качестве характеристики процесса.

Эффективные константы скорости нарастания сигналов и импульса близки и составляют  $(1.3 \pm 0.2) \times 10^8 \text{ с}^{-1}$ . На заднем фронте спад интенсивности свечения, регистрируемого из зоны воздействия, происходит быстрее, чем сигнал со всей ячейки. Характерные времена спада для образцов – около 40 нс. Общая длительность свечения не превышает 100 нс.

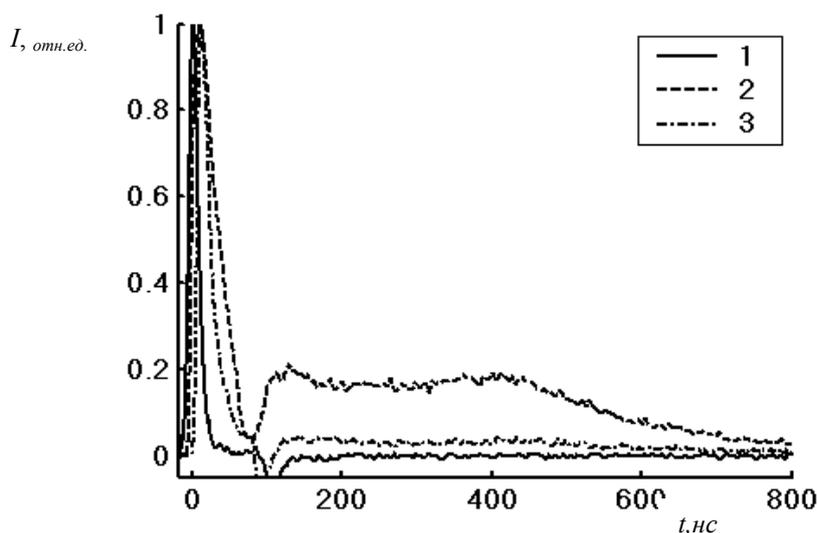


Рис. 4. Экспериментальная кинетика свечения таблеток тэн-алюминий в режиме взрывчатого разложения. 1 – инициирующий импульс, 2 – сигнал ФЭУ панорамного обзора, 3 – сигнал ФЭУ зонного обзора

В следующей серии экспериментов получены кинетические зависимости свечения, сопровождающего взрывчатое разложение, которое наблюдается при облучения прессованных таблеток тэн-алюминий, накрытых стеклянной пластиной, импульсом с плотностью энергии более  $1.7 \text{ Дж/см}^2$ . Взрыв сопровождается громким звуком и полным выносом энергетического материала, запрессованного в медную пластину. На алюминиевой подложке для образца остается круглый след. На начальном участке увеличения интенсивности свечения, фиксируемого ФЭУ зонного и панорамного обзора (рис. 4) описывается функцией Гаусса с эффективной константой  $k = (1.4 \pm 0.1) \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ . Кинетика свечения фиксируемого из зоны воздействия становится биекстремальной (рис. 4). Первый максимум практически совпадает с максимумом интенсивности воздействия, имеет высокую интенсивность за счет свечения разлетающегося вещества под действием лазерного импульса. Второй максимум представляет собой плато протяженностью до 600 нс и спадом в течение 200 нс, имеет не высокую интенсивность, которую можно объяснить слабым свечением продуктов реакции и экранированием этого свечения разлетающимися фрагментами, образовавшимися при взрыве. Максимум свечения, фиксируемого со всей ячейки, наблюдается раньше максимума интенсивности импульса. Отличительной особенностью кинетических закономерностей взрывчатого разложения прессованных таблеток тэн-алюминий является отсутствие индукционного периода. Свечение начинается сразу (аналогично ра-

диолюминесценции) с действием импульса на 10–20 нс раньше поглощения образцом пороговой плотности энергии инициирования взрывчатого разложения.

#### Микроочаговая модель

Проведено моделирование процесса взрывного разложения композитов тэн-алюминий в рамках модернизированной микроочаговой модели теплового взрыва [15]. Параметры модели оценены в работах [4, 5, 15, 16]. Методика моделирования процесса взрывного разложения изложена в работах [17-18]. В результате моделирования получены временные зависимости температуры на границе тэн – алюминий для различных значений плотности энергии (рис. 5). Из рисунка видно, что при значении плотности энергии инициирования меньше критического значения, происходит только нагрев системы с ее последующим остыванием, взрывного разложения не происходит. В случае превышения критической плотности энергии происходит резкий рост температуры, что соответствует тепловому взрыву [19]. Индукционный период реакции, развивающейся по механизму теплового взрыва – отсутствует. Реакция начинает интенсивно ускоряться во время действия импульса при незначительном превышении критической плотности энергии импульса. Согласно данным эксперимента, процесс инициирования имеет две выраженные стадии, первая из которых наблюдается во время действия импульса и сопоставима с ним по длительности, вторая, с длительностью на два порядка выше, – после действия импульса.

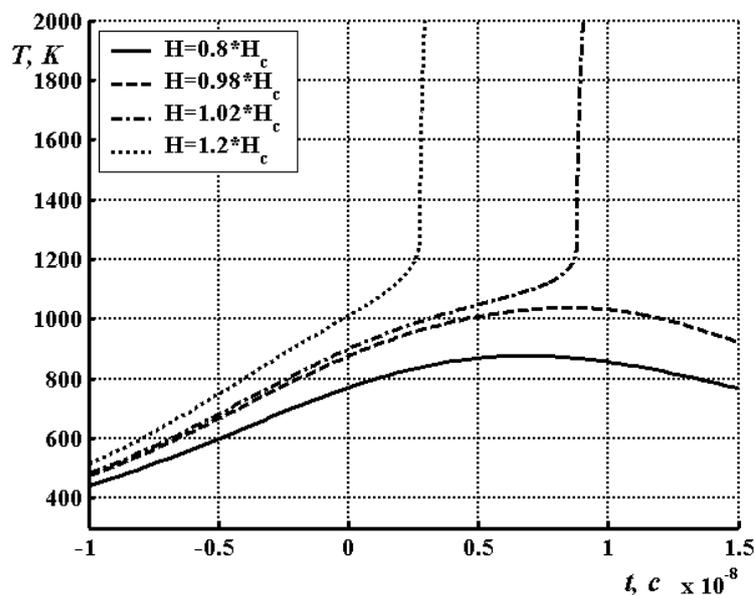


Рис. 5. Кинетика изменения температуры на границе алюминий–тэн при инициировании импульсом первой гармоники неодимового лазера при значениях плотности энергии  $0.8 \cdot H_c$ ,  $0.98 \cdot H_c$ ,  $1.02 \cdot H_c$ ,  $1.2 \cdot H_c$  (обозначения в легенде)

Наблюдаемые кинетические зависимости подтверждают микроочаговую концепцию инициирования взрыва. Во-первых, отсутствие индукционного периода согласно экспериментальным осциллограммам коррелирует с малым временем развития реакции в очаге, наблюдаемым в расчете (рис. 5). Во-вторых, зарождение реакции в очагах предполагает наличие стадии распространения реакции из них с последующим смыканием фронтов. Данная стадия может быть достаточно продолжительной, если существуют дополнительные механизмы разгрузки очагов кроме теплопроводности. В серии экспериментов с образцами тэн-алюминий незакрытых стеклом наблюдается выброс вещества с образованием каверны. На качественном уровне это объясняет протяженность второго пика свечения (рис. 4). С другой стороны, полученная кинетика не только подтверждает концепцию микроочагового инициирования взрыва, но и показывает ограничения ее применимости. Модель не рассматривает диспергирование вещества, наблюдаемое в эксперименте, поэтому может применяться только для описания начальных стадий процесса.

**Заключение**

С высоким временным разрешением исследованы процессы взрывчатого разложения прессованных таблеток тэн-алюминий при лазерном импульсном возбуждении на длине волны 1064 нм. Исследованы кинетические закономерности допороговых и взрывных режимов разложения таблеток, определены эффективные константы наблюдаемого свечения. Свечение, сопровождающее как допороговые, так и взрывные режимы разложения, начинается во время действия импульса, индукционный период – отсутствует. Начальный участок увеличения интенсивности свечения описывается функцией Гаусса с эффективными константами  $(1.2 \pm 0.2) \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$  для допорогового и  $(1.4 \pm 0.1) \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$  – для взрывчатого разложения. Результаты интерпретируются в рамках микроочаговой модели теплового взрыва. Показано качественное согласие теоретических и экспериментальных результатов, отсутствие индукционного периода является характерным признаком микроочагового теплового взрыва, инициированного лазерным импульсом.

*Авторы выражают глубокую благодарность научному руководителю профессору А.В. Каленскому.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госзадание № 2014/64).*

## Литература.

1. Kalenskii, A.V. Spectral regularities of the critical energy density of the pentaerythriol tetranitrate-aluminium nanosystems initiated by the laser pulse / A.V. Kalenskii, M.V. Ananyeva // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2014. – Т. 5. – № 6. – С. 803-810.
2. Ананьева, М.В. Перспективные составы для капсуля оптического детонатора / М.В. Ананьева, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков и др. // Перспективные материалы. – 2014. – № 7. – С. 5-12.
3. Ananyeva, M.V. The size effects and before-threshold mode of solid-state chain reaction / M.V. Ananyeva, A.V. Kalenskii // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. – 2014. – Т. 7. – № 4. – С. 470-479.
4. Ананьева, М.В. Кинетические закономерности взрывного разложения ТЭНа, содержащего наноразмерные включения алюминия, кобальта и никеля / М.В. Ананьева, А.В. Каленский, Е. А. Гришаева и др. // Вестник КемГУ. – 2014. – №1-1 (57). – С. 194-200.
5. Каленский, А.В. Взрывная чувствительность композитов тэн-алюминий к действию импульсного лазерного излучения / А.В. Каленский, И.Ю. Зыков, М.В. Ананьева и др. // Вестник КемГУ. – 2014. – № 3-3 (59). – С. 211-217.
6. Адуев, Б.П. Взрывчатое разложение ТЭНа с нанодобавками алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны / Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, Р.И. Фурега и др. // Химическая физика. – 2013. – Т. 32. – № 8. – С. 39-42.
7. Боровикова, А.П. Методика моделирования распространения взрывного разложения азида серебра / А.П. Боровикова, А.В. Каленский // Аспирант. – 2014. – №4. – С. 96-100.
8. Ananyeva, M.V. Comparative analysis of energetic materials explosion chain and thermal mechanisms / M.V. Ananyeva, V.G. Kriger, A.V. Kalenskii et al // Известия ВУЗов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11-3. – С. 13 - 17.
9. Боровикова, А.П. Пространственно-временные характеристики волны горения в азиде серебра / А.П. Боровикова, А.В. Каленский, И.Ю. Зыков // Аспирант. №3. – 2014. С. 37-42.
10. Ананьева, М.В. Иницирование взрывного разложения микрокристаллов азида серебра / М.В. Ананьева, А.В. Каленский // Молодой ученый. – 2014. – №19. – С. 52-55.
11. Кригер, В.Г. Определение пространственных характеристик волны цепной реакции в азиде серебра / В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон и др. // Химическая физика. – 2014. – Т. 33. – № 8. – С. 22 – 29.
12. Кригер, В.Г. Определение ширины фронта волны реакции взрывного разложения азида серебра / В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон и др. // Физика горения и взрыва. – 2012. – Т.48. – № 4. – С 129-136.
13. Каленский, А.В. Влияние длины волны лазерного излучения на критическую плотность энергии инициирования энергетических материалов / А.В. Каленский, А.А. Звекон, М.В. Ананьева и др. // Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50. – № 3. – С. 98-104.
14. Zvekov, A.A. Regularities of light diffusion in the compo site material pentaery thriol tetranitrate – nickel / A.A. Zvekov, M.V. Ananyeva, A.V. Kalenskii and others // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2014. – Т. 5. – №5. – С. 685-691.
15. Kalenskii, A.V. The Microcenter Heat Explosion Model Modernization / A.V. Kalenskii, V. G. Kriger, A.A. Zvekov and others // Известия ВУЗов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11-3. – С. 62-66.

16. Адуев, Б.П. Микроочаговая модель лазерного инициирования взрывного разложения энергетических материалов с учетом плавления. / Б.П. Адуев, М.В. Ананьева, А.А. Звекон и др. // Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50, – № 6. – С. 92-99.
17. Кригер, В.Г. Процессы теплопереноса при лазерном разогреве включений в инертной матрице / В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон и др. // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – Т. 20. – № 3. – С. 375-382.
18. Никитин, А.П. Расчет параметров инициирования взрывного разложения тэна с наночастицами хрома / А.П. Никитин // Современные фундаментальные и прикладные исследования. – 2013. – № 2 (9). – С. 29-34.
19. Каленский, А.В. Спектральная зависимость критической плотности энергии инициирования композиций на основе пентаэритриттетранитрата с наночастицами никеля / А.В. Каленский, М.В. Ананьева, А.А. Звекон и др. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2014. – Т. 11. – № 3. – С. 340-345.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НАНОПЛЕНОК Mn, MoO<sub>3</sub> ДО И ПОСЛЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ T=573 K**

*Н.И. Калимуллова, студентка, Е.И. Калабухова, студентка,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,  
г. Кемерово, ул. Красная, 6*

*E-mail: kalimullova-natalja@rambler.ru*

Изучение закономерностей процессов, протекающих в наноразмерных слоях различных материалов под действием энергетических факторов наряду с необходимостью создания прочного физико-химического фундамента наноструктурированного состояния вещества, представляется необходимым для получения новых функциональных материалов с управляемым уровнем чувствительности к различным внешним воздействиям.

Среди разнообразных неорганических материалов особое место занимает MoO<sub>3</sub> и системы на его основе. MoO<sub>3</sub> применяется в качестве катализатора в органическом синтезе, при переработке нефти, добавляется в качестве присадки к моторным маслам. Устройства на основе MoO<sub>3</sub> могут быть рекомендованы к использованию в качестве электрохромных и фотохромных дисплеев, электрохромных зеркал или светоперераспределяющих фильтров, сенсоров для контроля содержания газов в атмосфере. Не менее важным является марганец, благодаря комплексу положительных свойств он нашел широкое применение в различных областях науки, техники и промышленности. Тонкие пленки на основе марганца могут быть использованы в качестве тепло- и фотоотражающих покрытий. Постановка данных исследований с гетерогенными наноразмерными системами, наряду с их технической актуальностью, может быть полезным инструментом для выяснения механизма процессов превращений в твердых телах [1-3]. Целью данной работы является выяснение закономерностей процессов, протекающих в условиях атмосферы в наноразмерных пленках MoO<sub>3</sub> и Mn различной толщины во время обработки при температуре (T=573 K).

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких (2 – 23 нм) пленок марганца и оксида молибдена (VI) на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». Толщину пленок определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») и микроскопическим (интерференционный микроскоп «МИИ-4») методами. Термическую обработку образцов осуществляли в сушильном шкафу «Тулячка ЗП». Регистрацию спектров поглощения и отражения до и после термической обработки образцов осуществляли спектрофотометрическим методом (в диапазоне длин волн  $\lambda = 190-1100$  нм, используя спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»).

В результате исследований оптических свойств наноразмерных пленок Mn и MoO<sub>3</sub>, нанесенных на стеклянные подложки, до, в процессе и после термической обработки в атмосферных условиях было установлено, что спектры поглощения и отражения образцов зависят от толщины слоев MoO<sub>3</sub>, Mn и времени термообработки. В результате термической обработки (T= 573 K) слоев Mn, MoO<sub>3</sub> разной толщины спектры поглощения и отражения образцов претерпевают существенные изменения [4].

На рис. 1 приведены спектры поглощения марганца (d=8 нм) до и после термообработки при T=573K. Видно, что термическая обработка приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образцов. Наряду с уменьшением в исследуемом диапазоне длин волн ( $\lambda = 300-1100$  нм) оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

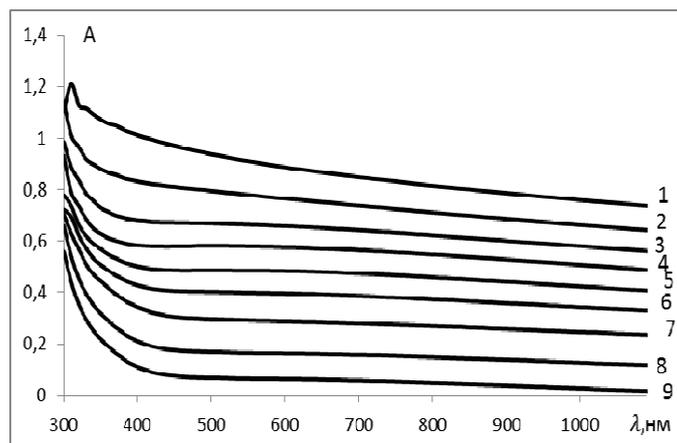


Рис. 1. Спектры поглощения пленки Mn ( $d=8$  нм) до (0) и после термообработки при  $T = 573K$  в течение: 2-16, 3-40, 4-95, 5-200, 6-240, 7-380, 8-690, 9-111 мин

Установлено, что вид спектров поглощения и отражения гетеросистем Mn-MoO<sub>3</sub> до термообработки зависит от толщины подслоев марганца и оксида молибдена (VI). На спектрах поглощения систем проявляются полосы соответствующие индивидуальным пленкам Mn и MoO<sub>3</sub> в степенях, соответствующих соотношению толщины подслоев (рис.2). В частности, на спектрах поглощения системы Mn-MoO<sub>3</sub> (рис. 3) видно, что по мере увеличения времени термообработки наблюдается уменьшение значения оптической плотности систем Mn-MoO<sub>3</sub>.

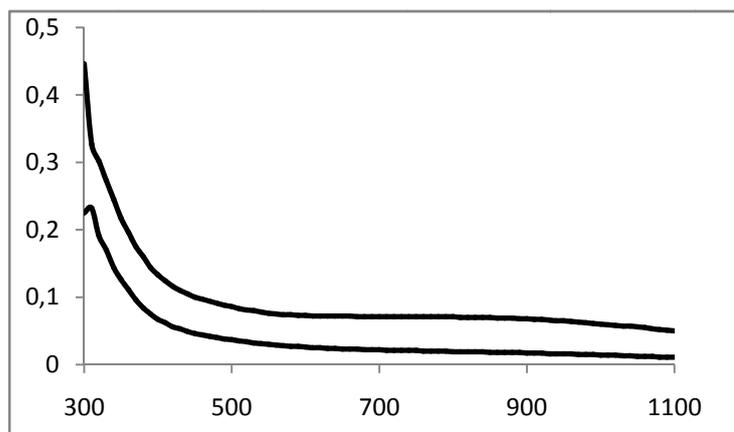


Рис. 2. Исходные спектры поглощения системы Mn-MoO<sub>3</sub> с разными толщинами: 1- $d_{Mn}=2$  нм,  $d_{MoO_3}=18$  нм; 2- $d_{Mn}=0,5$  нм,  $d_{MoO_3}=13$  нм

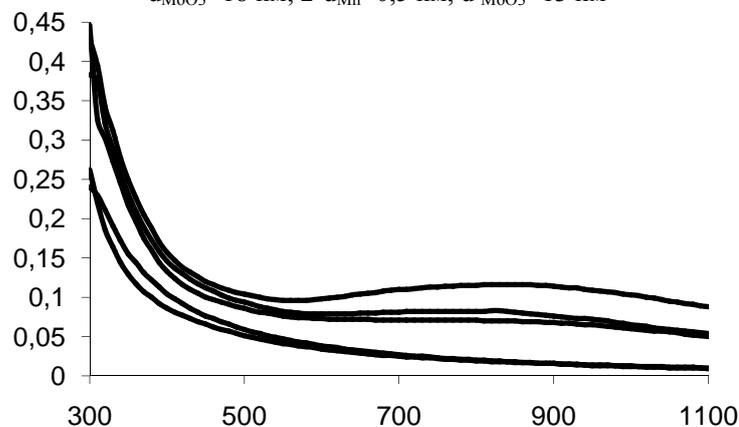


Рис.3. Спектры поглощения системы Mn-MoO<sub>3</sub> до (0) и после термообработки (Mn  $d=2$ нм; MoO<sub>3</sub>  $d=18$  нм) при  $T=573K$  в течение: 2-3, 3-27, 4-132, 5-190 мин

Литература.

1. Суздальев И.П. Нанотехнология: физикохимия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006. 592 с.
2. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
3. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы / Под ред. Третьякова Ю.Д. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 456 с.
4. Суровой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы In-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // Неорган. материалы. 2012. Т. 48. № 7. С. 819–824.

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОПЛЕНОК Mn  
ПРИ T = 473 К, 673 К, 873 К**

*Е.И. Калабухова, студентка,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский Государственный Университет»,  
г. Кемерово, ул. Красная, 6  
E-mail: Katerinochka-4@mail.ru*

Получение наноразмерных пленок различных материалов, выяснение закономерностей процессов протекающих под действием различных факторов, представляют значительный интерес как для физики и химии твердого состояния, так и в связи с необходимостью разработки реальных систем с управляемым уровнем. Марганец, благодаря комплексу положительных свойств, нашел широкое применение в различных областях науки, техники и промышленности [3].

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких (20 – 24 нм) пленок марганца на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». Подложками служили стекла от фотопластинок, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей мыльной воде, промывали в дистиллированной воде и сушили. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 – 1100 нм. Толщину марганцевых пленок определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»), эллипсометрическим (эллипсометр «ЛЭФ-3М»), микроскопическим (интерференционный микроскоп «МИИ-4») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами.

По длиноволновому порогу поглощения (при  $\lambda = 480$  нм) была оценена оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества, она составляет  $E = 2,57$  эВ. Полученное значение ширины запрещенной зоны вещества удовлетворительно совпадает с шириной запрещенной зоны оксида марганца (II). Поэтому, было сделано предположение, что при термической обработке пленок марганца основным продуктом взаимодействия их с кислородом окружающей среды является оксид марганца (II) [1].

Было установлено, что при увеличении температуры термообработки эффект уменьшения оптической плотности образцов усиливается. Предельные значения изменений оптической плотности при увеличении толщины пленок Mn возрастают.

Из анализа результатов представленных на рис. 1 - 3 было установлено, что по мере увеличения температуры обработки пленок марганца при одинаковой толщине пленок наблюдается уменьшение времени достижения ее предельного значения во всем исследованном спектральном диапазоне.

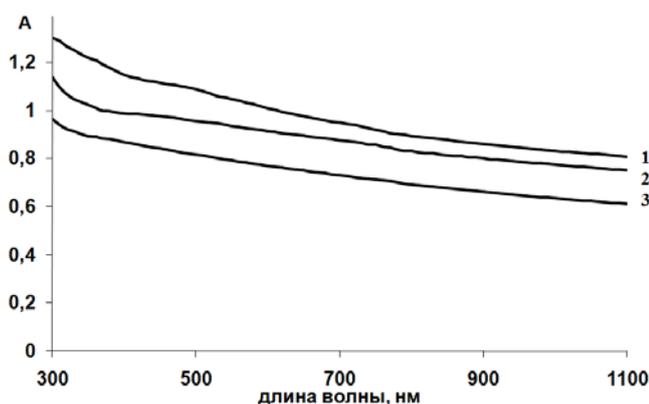


Рис. 1. Спектры поглощения пленок Mn до термообработки толщиной: 1 - 24, 2 - 23, 3 - 20 нм

Было установлено, что при термической обработке пленок Mn независимо от их толщины значение оптической плотности уменьшается. В результате тепловой обработки слоев Mn при разной температуре и одной толщины спектры поглощения и отражения образцов претерпевают существенные изменения. В качестве примера, на рис. 2 приведены спектры поглощения пленок марганца толщиной  $d=24$  нм до и после термической обработки при  $T=473$  К. Видно, что наряду с уменьшением в исследуемом диапазоне длин волн ( $\lambda = 300-1100$  нм) оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

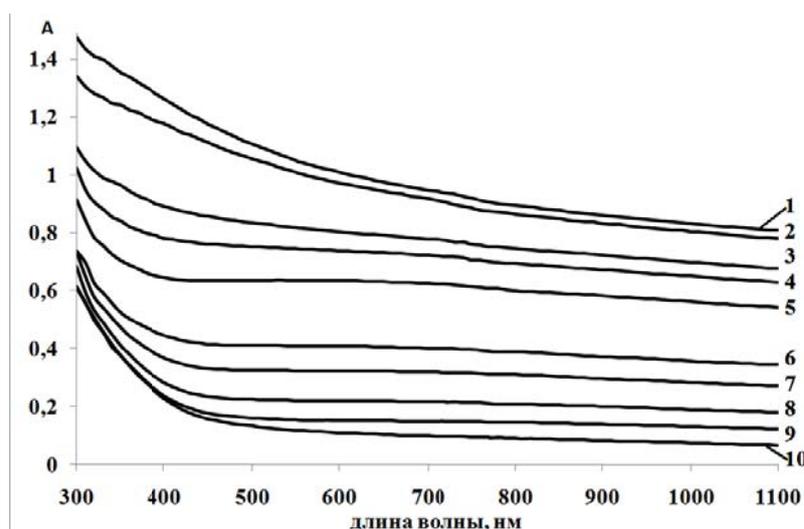


Рис. 2. Спектры поглощения пленки Mn ( $d=24$  нм) до (1) и после термообработки при  $T=473$  К в течение: 2-5, 3-25, 5-60, 5-180, 6-280, 7-440, 8-920, 9-1800, 10-3600 мин

На рис. 3 приведены кинетические кривые степени превращения пленок марганца разной толщины при температуре  $T = 473$  К в зависимости от первоначальной толщины образцов. Прежде всего, было отмечено, что с уменьшением толщины пленок марганца наблюдается увеличение степени термического превращения во всем исследуемом диапазоне и видно, что с увеличением толщины пленки время обработки увеличивается.

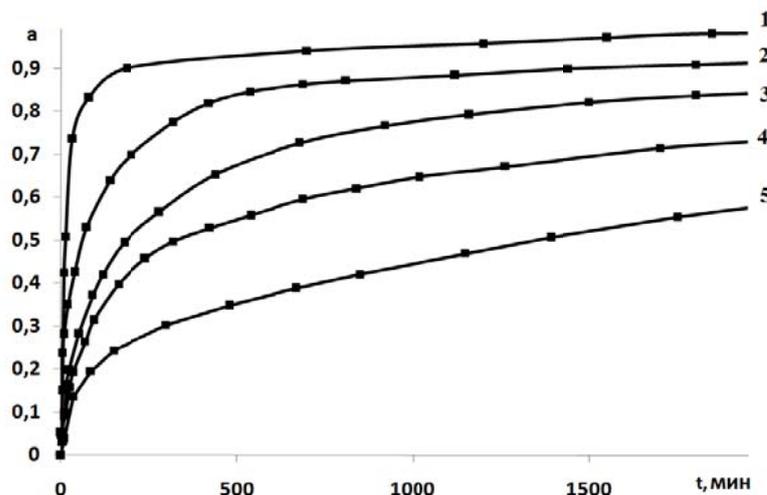


Рис. 3. Зависимость степени превращения от толщины пленок марганца при 473 К: 1-12; 2-16; 3-20; 4-24; 5-36 нм

Для пленок марганца толщиной ( $d_n=20-24$  нм) в изученном интервале температур ( $T = 473-873$  К) степень превращения достигает единицы за  $\tau = 50 \dots 10000$  мин.

По мере увеличения температуры термообработки при постоянной толщине пленок марганца степень термического превращения возрастает. Также при увеличении температуры термообработки

пленок марганца угол наклона прямой в координатах  $\alpha=f(\tau)$  возрастает (см. рис. 4). С увеличением температуры термической обработки увеличивается массовая доля образовавшегося оксида марганца (II) [4]. Также можно заметить, что по мере увеличения температуры ( $T = 473-873$  К) обработки пленок марганца при одной толщине пленок наблюдается уменьшение времени достижения ее предельного значения во всем исследованном спектральном диапазоне.

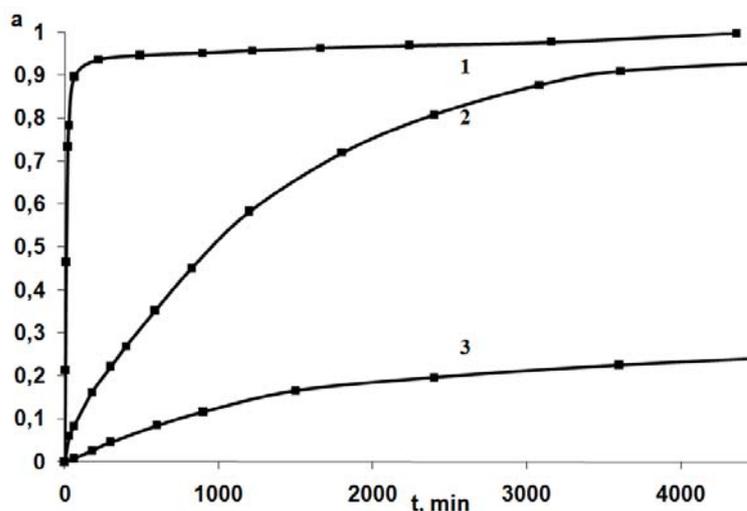


Рис. 4. Кинетическая зависимость степени превращения пленок Mn ( $d=23$ ) от температуры 1 – 873 К, 2 – 673 К, 3 – 473 К

Для выяснения закономерностей процесса окисления наноразмерных слоев марганца (используя результаты измерений спектров поглощения и отражения образцов разной толщины до и после термообработки) были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения марганца в оксид марганца (II)  $\alpha=f(\tau)$ . Для расчета степени превращения была выбрана длина волны  $\lambda=800$  нм, при которой исходные образцы (пленки марганца) имеют значительное поглощение, а оксид марганца не поглощает свет.

В результате обработки спектров поглощения было установлено, что степень термического превращения пленок марганца зависит от первоначальной толщины, температуры и времени термической обработки.

Кинетическую кривую степени термического превращения пленок марганца условно можно разбить на несколько участков: линейный ( $\alpha = K\tau + A$ ), обратный логарифмический ( $K / \alpha = B - \lg\tau$ ), кубический ( $L^3 = K\tau + B$ ), логарифмический ( $\alpha = K \lg(B\tau + 1)$ ), где  $K$  – константа скорости формирования оксида марганца (II),  $A$  и  $B$  – постоянные интегрирования,  $\tau$  – время взаимодействия. Наличие соответствующих участков, а также их продолжительность определяется толщиной пленок марганца и температурой термообработки [2].

Было выдвинуто предположение [3], что при химической адсорбции  $O_2$  свободный электрон решетки оксида марганца (II) (по мере приближения молекулы кислорода к поверхности MnO) все в большей степени локализуется около той точки на поверхности (S), к которой приближается молекула кислорода.

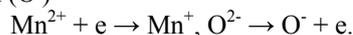
При этом между атомами кислорода и поверхностью MnO возникают связи, обеспечиваемые локализуемыми электронами ( $e S e$ ) и упрочняющиеся по мере приближения молекулы кислорода. Связь между атомами кислорода постепенно ослабевает. В итоге атомы кислорода оказываются связанными прочными связями с поверхностью MnO



Необходимые для ионизации хемосорбированных атомов кислорода электроны могут туннелировать из металла через слой оксида марганца (II)



и образовываться в результате дополнительного окисления части ионов марганца ( $Mn^{2+}$ ) оксида марганца (II) с образованием дырок ( $O^\cdot$ )



Сформированный в процессе получения и термической обработки пленок марганца слой оксида марганца (II) будет препятствовать перемещению катионных вакансий от поверхности MnO к границе контакта Mn – MnO и, таким образом, тормозить взаимодействие марганца с кислородом. Одним из условий [3], характеризующих способность оксида марганца (II) тормозить процесс взаимодействия, является сплошность оксидной пленки. Согласно критерию Пиллинга и Бедвортса, который для марганца составляет 2,34, следует ожидать образования сплошной оксидной пленки. Из-за достаточно высокой подвижности электронов и низкой скорости движения катионных вакансий в системе Mn – MnO возникает потенциал. Этот потенциал создает электрическое поле в слое MnO, которое стимулирует движение катионов марганца к поверхности MnO. При этом, согласно [3] для оксидов, у которых основными носителями заряда являются дырки, может быть реализован кубический и логарифмический законы роста тонких пленок (оксид марганца (II) – полупроводник *p*-типа).

Литература.

1. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы индий-оксид индия (III)//Неорганические материалы. 2012. Т. 48. № 7. С. 819-824;
2. Суrowой Э.П. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках хрома / Э.П. Суrowой, Т.М. Заиконникова // Журнал физической химии. 2014. Т. 88. № 1. С. 86-92;
3. Заиконникова, Т.М. Особенности термостимулированных превращений в наноразмерных пленках марганца / Т.М. Заиконникова, Т.Ю. Кожухова // Ползуновский вестник, 2013. №1. С. 91-96;
4. Суrowой Э.П. Закономерности превращений в наноразмерных слоях галлия при нагревании /Э. П. Суrowой, А. А. Сухорукова, С. В. Бин// Неорганические материалы, 2014, Т. 50, №12, С. 1191–119.

#### **ВЛИЯНИЕ НИКЕЛЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДА МОЛИБДЕНА (VI) В НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМАХ Ni-MoO<sub>3</sub> ДО И ПОСЛЕ ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ 573 К**

*Д.А. Конюкова, студент, С.В. Бин, к.х.н, ведущий инженер,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово,  
650043, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6, Россия, тел. (3842)580605  
E-mail: Darya-Yurga@yandex.ru, peen@ngs.ru*

Эффекты, протекающие на поверхности твердых тел и в тонких пленках, напрямую связаны с размерами объектов, прежде всего их толщиной, и поэтому принципиально отличаются от процессов, протекающих в массивных телах. Это открывает широкие возможности создания на поверхности изделий наноразмерных покрытий, представляющих собой принципиально новые как по структуре, так и по свойствам материалы. Среди разнообразных неорганических материалов особое место занимает оксид молибдена (VI). Оксид молибдена (VI) и системы на его основе привлекают внимание исследователей различного профиля. MoO<sub>3</sub> применяется для получения молибдена (его сплавов и соединений), как составная часть керамических глин, глазурей, эмалей, красителей. Оксид молибдена (VI), нанесенный на различные носители (диоксид титана, кремнезем), вызывает фотостимулированную конверсию метана и метансодержащих газовых смесей (в различных газовых композициях) с достаточно высоким выходом метанола, формальдегида, СО, СО<sub>2</sub>. Устройства на основе MoO<sub>3</sub> могут быть рекомендованы к использованию в качестве электрохромных и фотохромных дисплеев, электрохромных зеркал или светоперераспределяющих фильтров, сенсоров для контроля содержания газов в атмосфере [1-3]. Никель является основой большинства суперсплавов – жаропрочных материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности для деталей силовых установок, различных аппаратов, приборов, котлов и тиглей с высокой коррозионной стойкостью [4]. Пленки никеля применяют для изготовления фоторегистрирующих устройств и солнечных батарей, при создании устройств магнитной памяти, датчиков магнитного поля, в качестве антикоррозийного и износостойкого покрытий [5, 6].

В настоящей работе представлены результаты исследований влияния подслоя никеля на оптические свойства (оптическая плотность, отражательная способность) оксида молибдена (VI) в наноразмерных системах Ni – MoO<sub>3</sub> до и после термического воздействия при температуре 573 в зависимости от толщины пленок никеля, оксида молибдена (VI) и времени термообработки.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме (2·10<sup>-3</sup> Па) путем нанесения тонких слоёв Ni (1...15 нм) и MoO<sub>3</sub> (7...43 нм) на подложки из стекла, используя

вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». Двухслойные системы Ni-MoO<sub>3</sub> готовили путем последовательного нанесения слоев MoO<sub>3</sub> на слой Ni (предварительно нанесенный на подложку из стекла) [7]. Толщину полученных пленок определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») методом. Образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры (T = 573 K) фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в сушильном шкафу «Тулячка 3П». Регистрацию эффектов до и после термической обработки образцов осуществляли спектрофотометрическим методом [3, 6, 7].

В результате исследований оптических свойств наноразмерных плёнок Ni, MoO<sub>3</sub> и двухслойных систем Ni-MoO<sub>3</sub> было установлено, что спектры поглощения образцов до термической обработки существенно зависят от толщины каждого из слоёв Ni и MoO<sub>3</sub>. На рис. 1 представлены спектры поглощения систем Ni-MoO<sub>3</sub> с различной толщиной подслоёв до термической обработки.

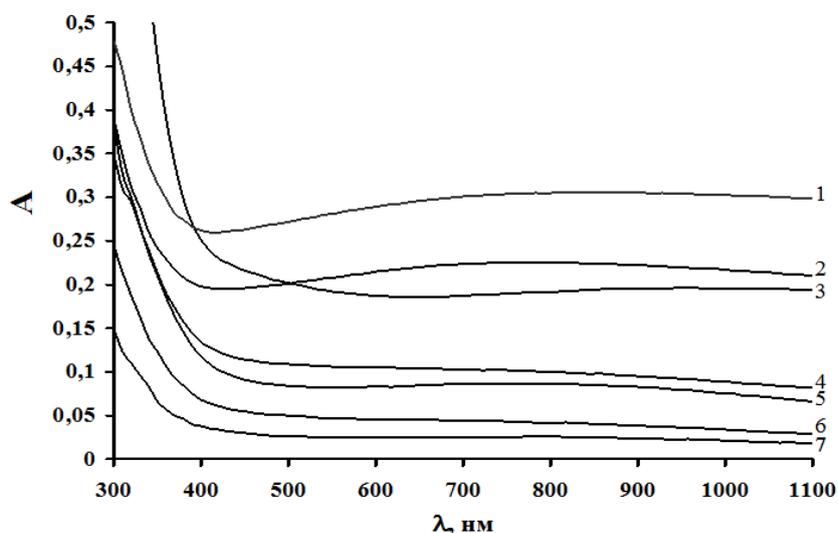


Рис. 1. Спектры поглощения системы Ni-MoO<sub>3</sub> до термической обработки, толщины (нм) пленок Ni и MoO<sub>3</sub> соответственно равны 15 и 14 (1), 11 и 7 (2), 10 и 43 (3), 6 и 15 (4), 2 и 18 (5), 2 и 9 (6), 1 и 18 (7)

Спектры поглощения систем в коротковолновой области спектра ( $\lambda = 300-400$  нм) по мере уменьшения толщины пленок никеля в значительной степени определяются поглощением пленок MoO<sub>3</sub>, тогда как в длинноволновой области спектра ( $\lambda = 400-1100$  нм) в основном проявляются полосы поглощения пленок никеля. При увеличении толщины пленок никеля при сопоставимых толщинах пленок MoO<sub>3</sub>, наблюдается увеличение оптической плотности и отражательной способности систем в диапазоне  $\lambda = 190-1100$  нм. При одинаковой толщине пленок никеля, с увеличением толщины пленок MoO<sub>3</sub>, оптическая плотность систем Ni-MoO<sub>3</sub> возрастает, но, в этом случае в более значимой степени проявляется полоса поглощения в коротковолновой области спектра ( $\lambda = 300-400$  нм), характерная для оксида молибдена (VI).

В результате термической обработки систем Ni-MoO<sub>3</sub> в атмосферных условиях спектры поглощения и отражения образцов претерпевают существенные изменения. Установлено, что при уменьшении толщины пленок никеля и оксида молибдена (VI) при термообработке систем наблюдается увеличение эффектов изменения оптической плотности и уменьшение времени достижения ее предельного значения. Обнаружено, что в процессе воздействия тепла (573 K) для ряда систем с определенным соотношением толщин пленок никеля и оксида молибдена (VI) наблюдается уменьшение оптической плотности изучаемых систем в длинноволновой области спектра ( $\lambda = 400-1100$  нм) (рис. 2). При этом необходимо отметить, что по мере достижения оптической плотности ее предельных значений, начинает проявляться все в большей степени широкая полоса поглощения с максимумом  $\lambda = 870$  нм, которая характерна для индивидуальных пленок оксида молибдена (VI) в процессе теплового воздействия.

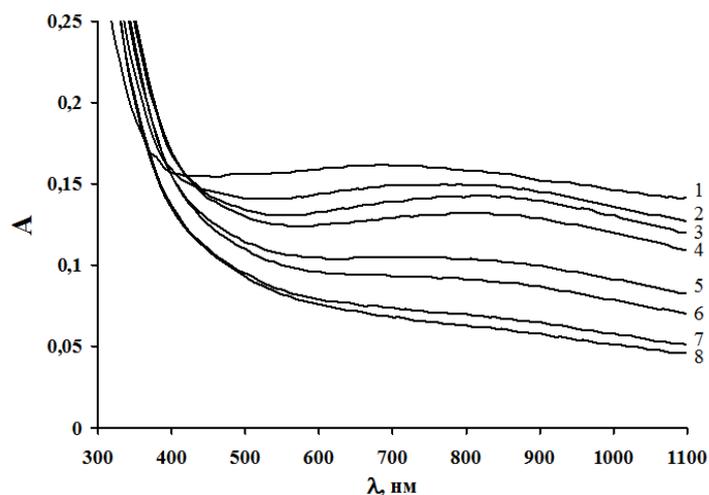


Рис. 2. Спектры поглощения системы Ni – MoO<sub>3</sub> ( $d(\text{Ni})=3$  нм,  $d(\text{MoO}_3)=12$  нм) до (1) и после термического воздействия при 573 К: 2 - 360, 3 - 960, 4 - 1560, 5 - 2160, 6 - 3660, 7 - 4560, 8 - 6060 сек

Для выяснения возможного влияния подслоев никеля и оксида молибдена (VI) друг на друга в процессе приготовления систем Ni-MoO<sub>3</sub>, были сопоставлены экспериментальные спектры поглощения систем с рассчитанными спектрами поглощения, полученными суммированием при каждой длине волны значений оптической плотности индивидуальных пленок MoO<sub>3</sub> и Ni аналогичной толщины. В качестве примера на рис. 3 показано, что экспериментальные и полученные суммированием спектров поглощения пленок Ni и MoO<sub>3</sub> расчетные кривые всех исследованных образцов не совпадают. Это может быть связано с формированием при приготовлении систем дополнительного количества центров окраски [3]. Из рис. 3 видно, что при последовательном нанесении пленок Ni и MoO<sub>3</sub> методом термического испарения в вакууме наблюдается уменьшение оптической плотности в диапазоне  $\lambda = 300\text{--}400$  нм с максимумом при  $\lambda \approx 350$  нм и, как следствие, смещение края полосы собственного поглощения MoO<sub>3</sub> в коротковолновую область спектра. Одновременно наблюдается увеличение оптической плотности в диапазоне  $\lambda = 400\text{--}1100$  нм с максимумом при  $\lambda \approx 870$  нм. Это связано с уменьшением концентрации центров T<sub>1</sub> [ $(V_a)^{++} e$ ] (анионная вакансия кислорода с одним захваченным электроном) и увеличением концентрации центров T<sub>2</sub> [ $e (V_a)^{++} e$ ] (анионная вакансия кислорода с двумя захваченными электронами) [3].

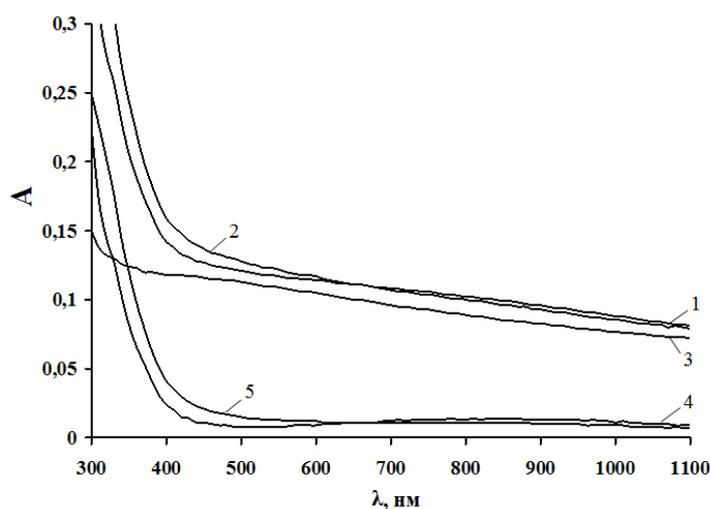


Рис. 3. Экспериментальные (1, 3, 5) и рассчитанные (2, 4) спектры поглощения: 1) Ni – MoO<sub>3</sub>, 2) Ni – MoO<sub>3</sub>, 3) Ni, 4) MoO<sub>3</sub>, 5) MoO<sub>3</sub> ( $d(\text{Ni}) = 6$  нм,  $d(\text{MoO}_3) = 13$  нм)

Для выяснения характера влияния пленок никеля на термические превращения в пленках оксида молибдена (VI) до и после термической обработки систем Ni - MoO<sub>3</sub> были рассчитаны, построены и сопоставлены кинетические зависимости степени превращения  $\alpha = f(\tau)$  (где  $\tau$  – время термической обработки) пленок MoO<sub>3</sub>, нанесенных на стеклянные подложки и пленки никеля. Для расчета значений оптической плотности пленок MoO<sub>3</sub> из экспериментальных спектров поглощения систем Ni - MoO<sub>3</sub> вычитали спектры поглощения индивидуальных пленок никеля до и после термообработки систем Ni - MoO<sub>3</sub>. Обнаружено, что скорость превращения центра T<sub>2</sub> пленок MoO<sub>3</sub> в системах Ni - MoO<sub>3</sub> больше, чем в индивидуальных пленках MoO<sub>3</sub>. Было установлено, что степень превращения центра T<sub>2</sub> пленок MoO<sub>3</sub> в системах Ni - MoO<sub>3</sub> зависит от первоначальной толщины пленок MoO<sub>3</sub> и Ni и времени термической обработки. По мере увеличения времени термообработки степень превращения центра T<sub>2</sub> пленок MoO<sub>3</sub> в системах Ni - MoO<sub>3</sub> возрастает.

Литература.

1. Epifani, M. Synthesis and characterization of MoO<sub>3</sub> thin films and powders from a molybdenum chloromethoxide / M. Epifani, P. Imperatori, L. Mirengi, M. Schioppa, P. Siciliano // Chem. Mater. 2004. Т. 16. № 25. С. 5495–5501.
2. Sian Tarsame S. Infrared and electrochemical studies on Mg intercalated a-MoO<sub>3</sub> thin films / S. Sian Tarsame, G. B. Reddy // Solid State Ionics. 2004. Т. 167, № 3. P. 399–405.
3. Суrowой, Э.П. Термопревращения в наноразмерных слоях MoO<sub>3</sub> / Э.П. Суrowой, Н.В. Борисова // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 11. С. 2120–2125.
4. Перельман, Ф.М., Зворыкин А.Я. Кобальт и никель М.: Наука, 1975. 215 с.
5. Степанов, А.Л. Синтез и измерения магнитных свойств наночастиц никеля во фториде магния // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. вып. 4. С. 49-54.
6. Surovoi, E.P. Kinetic Laws of Thermal Transformations in Nickel Nanofilms / E.P. Surovoi, L.N. Bugerko, V.E. Surovaya, S.V. Bin // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2014, V. 88, № 12, P. 2172-2178.
7. Surovoi, E.P. Thermal Transformations in Nanodimensional Pb–WO<sub>3</sub> Systems / E.P. Surovoi, S.V. Bin // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2012, V. 86, № 2, P. 277-282.

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК НИКЕЛЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 623 К

*А.Н. Котова, студент, С.В. Бин, к.х.н, ведущий инженер,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово,  
650043, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6, Россия, тел. (3842)580605  
E-mail: Asia\_12.05@mail.ru, peen@ngs.ru*

В настоящее время в различных областях науки и техники широкое применение находят ультратонкие металлические пленки и многослойные пленочные структуры наноразмерной толщины. Это обусловлено тем, что указанные объекты обладают рядом уникальных свойств, нехарактерных для материалов в массивном состоянии, что вызывает большой интерес к ним со стороны как ученых и исследователей, так и разработчиков аппаратуры. Высокая коррозионная стойкость никелевых покрытий позволяет использовать тонкие никелевые слои для защиты различных металлов от коррозии путем их никелирования. Никель является основой большинства суперсплавов – жаропрочных материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности для деталей силовых установок. Из чистого никеля изготавливаются различные аппараты, приборы, котлы и тигли с высокой коррозионной стойкостью и постоянством физических свойств. Особое значение имеют никелевые материалы в изготовлении резервуаров и цистерн для хранения в них пищевых продуктов, химических реагентов [1, 2]. Наночастицам никеля находят применение в качестве «атомных ножниц», которые могут разрезать наноленты графена на кусочки меньшего размера. Подобный современный процесс может оказаться полезным для получения нанолент и фрагментов этого материала более сложной и полезной формы [3].

В работе представлены результаты исследований оптических (спектры поглощения и отражения) свойств наноразмерных пленок никеля до и после термического воздействия при температуре 623 К. Построены кинетические зависимости и изучены основные закономерности термопревращений наноразмерных пленок никеля разной толщины (1...20 нм) при температуре 623 К.

Наноразмерные пленки никеля получали методом термического испарения в вакууме порошка никеля, осаждая его на стеклянные подложки, используя вакуумный универсальный пост «ВУП – 5М» при остаточном давлении газов в вакуумной камере  $2 \cdot 10^{-3}$  Па. Толщину пленок никеля опреде-

ляли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»). Полученные образцы подвергали термической обработке в программно-управляемой муфельной печи «Тулячка – 3П» при температуре 623 К. Спектры поглощения и отражения образцов регистрировали на спектрофотометре «Shimadzu UV – 1700» в диапазоне длин волн  $\lambda = 190 - 1100$  нм [4, 5].

В результате исследований установлено, что оптические свойства наноразмерных пленок никеля до и после термической обработки в значительной степени зависят от их толщины. По мере увеличения толщины пленок никеля оптическая плотность (рис. 1) и отражающая способность образцов в исследуемом спектральном диапазоне возрастает.

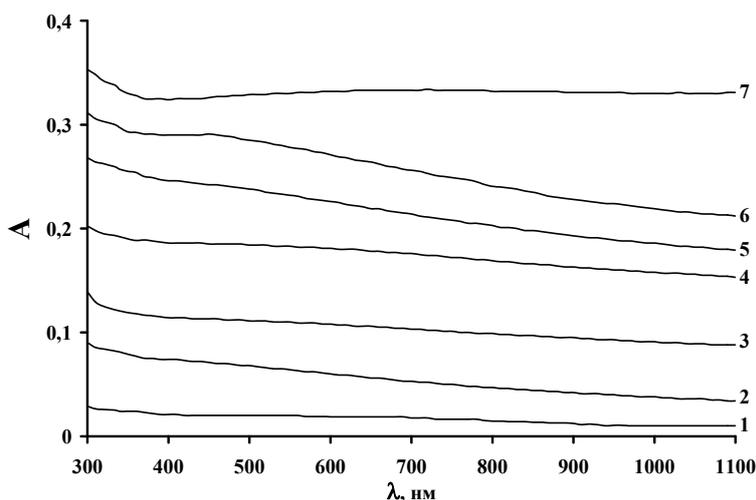


Рис. 1. Спектры поглощения пленок никеля разной толщины до термического воздействия: 1 – 1, 2 – 4, 3 – 6, 4 – 10, 5 – 12, 6 – 15, 7 – 18 нм

На спектрах поглощения наноразмерных пленок никеля наблюдается минимум в диапазоне  $\lambda = 350 - 400$  нм, который наиболее заметен с увеличением толщины пленок. Для спектров отражения наноразмерных пленок никеля характерен максимум отражения в области  $\lambda = 830$  нм, который по мере уменьшения толщины пленки никеля проявляется в меньшей степени.

При термической обработке наноразмерных пленок никеля, независимо от их толщины, наблюдается уменьшение оптической плотности образцов. В качестве примера на рисунке 2 приведены спектры поглощения пленки никеля толщиной 3 нм при 623 К. Из графика видно, что по мере увеличения времени термообработки оптическая плотность пленки никеля уменьшается в интервале  $\lambda = 320 - 1100$  нм.

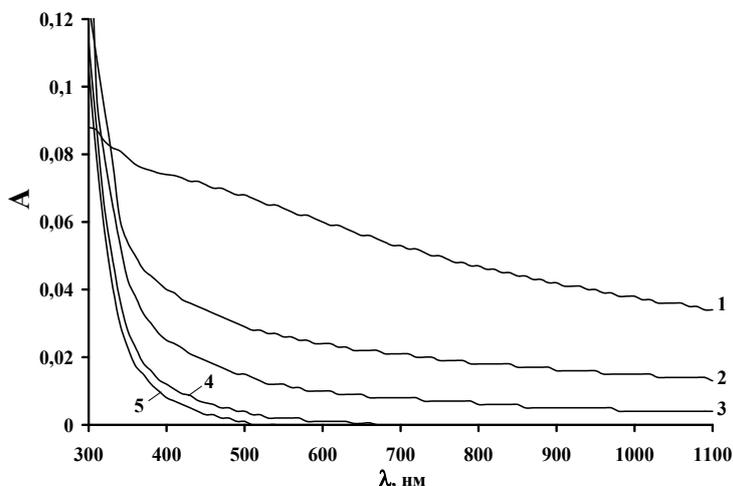


Рис. 2. Спектры поглощения пленки никеля толщиной 3 нм до (1) и после термического воздействия при 623 К: 2 - 90, 3 – 210, 4 – 510, 5 – 930 сек

Установлено, что в процессе тепловой обработки (623 К) пленок никеля в исследуемом диапазоне толщин наряду с уменьшением в интервале  $\lambda = 320 - 1100$  нм и увеличением в диапазоне  $\lambda = 300 - 320$  нм значений оптической плотности образцов формируется спектр поглощения нового вещества. Оцененная по длинноволновому порогу поглощения, который находится при  $\lambda \approx 350$  нм, оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества составляет  $E \approx 3,5$  эВ. Полученное значение ширины запрещенной зоны вещества удовлетворительно совпадает с шириной запрещенной зоны оксида никеля (II) (NiO).

В процессе термообработки отражательная способность наноразмерных пленок никеля уменьшается, при этом происходит изменение формы кривых. Наблюдается максимум при  $\lambda = 830$  нм и минимум при  $\lambda = 370 - 380$  нм. В процессе термической обработки минимум смещается в более коротковолновую область спектра и появляется дополнительный максимум отражения при  $\lambda = 360 - 370$  нм.

Для выяснения закономерностей протекания процесса взаимодействия пленок никеля с кислородом окружающей среды были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения  $\alpha = f(\tau)$  (рис. 3). Для построения кинетических кривых в координатах  $\alpha = f(\tau)$  (по результатам измерений спектров поглощения и отражения) был применен подход, предложенный в работах [4, 5].

Был выбран диапазон длин волн  $\lambda = 400 - 900$  нм, в котором пленки никеля имеют значительное поглощение, а поглощением NiO можно пренебречь. Если обозначить через  $\alpha$  степень термического превращения пленок никеля в оксид никеля (II), то при длине волны (например,  $\lambda = 800$  нм – рис. 2), соответствующей спектральной области, в пределах которой никель поглощает, а оксид никеля (II) практически не поглощает свет, текущие оптические плотности пленок никеля ( $A_{Ni}$ ) и оксида никеля ( $A_{NiO}$ ) можно представить в следующем виде:

$$A_{Ni} = A_{Ni}^1 (1 - \alpha),$$

$$A_{NiO} = A_{NiO}^1 \alpha,$$

где  $A_{Ni}^1, A_{NiO}^1$  – предельные значения оптической плотности пленок никеля и оксида никеля (II) при  $\lambda = 800$  нм.

В итоге получаем следующее выражение для степени термического превращения пленки никеля в оксид никеля (II):

$$A = A_{Ni}^1 (1 - \alpha) + A_{NiO}^1 \alpha,$$

$$\alpha = (A_{Ni}^1 - A_{обр.}) / (A_{Ni}^1 - A_{NiO}^1).$$

В результате анализа кинетических кривых термостимулированного превращения пленок никеля установлено, что степень термического превращения зависит от первоначальной толщины и времени термической обработки. С увеличением времени термообработки происходит возрастание степени превращения. В свою очередь, по мере уменьшения толщины пленок никеля наблюдается увеличение степени превращения.

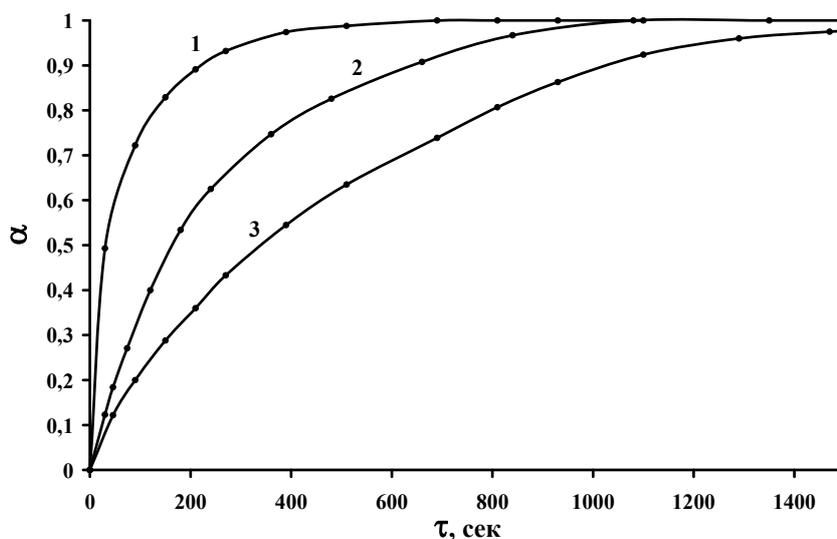


Рис. 3. Кинетические зависимости пленок никеля разной толщины при термообработке (623 К), 1 – 1 нм, 2 – 4 нм, 3 – 9 нм

Литература.

1. Пешкова, В.М. Аналитическая химия никеля. – М.: Наука. 1966. – 203 с.
2. Громов, Д.Г. Факторы, определяющие температуру плавления тонких пленок Cu и Ni на инертных поверхностях / Д.Г. Громов, С.А. Гаврилов, Е.Н. Редичев и др // Журн. физ. химии. 2006. – Т. 80. – № 10. – С. 1856.
3. Степанов, А.Л. Синтез и измерения магнитных свойств наночастиц никеля во фториде магния // Письма в ЖТФ. 2004. – Т. 30. – вып. 4. – С. 49-54.
4. Surovoi, E.P. General Aspects of the Growth of Cobalt Nanofilms during Heat Treatment / Surovoi E.P., Sukhorukova A.A., S.V. Bin // Inorganic Materials, 2014, Vol. 50, No. 4, pp. 404–408.  
Surovoi

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ  
ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА**

*И.В. Мартемьянова, аспирант,*

*Томский политехнический университет,*

*634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. (3822) - 60-61-14*

*E-mail: martemiv@yandex.ru*

Во многих регионах земного шара имеется проблема загрязнённости природных вод мышьяком [1-3]. В природные воды мышьяк поступает из минеральных источников, районов мышьяковистого оруднения (мышьяковый колчедан, реальгар, аурипигмент), а также из зон окисления пород полиметаллического, медно-кобальтового и вольфрамового типов. Некоторое количество мышьяка поступает из почв, а также в результате разложения растительных и животных организмов. Значительные количества мышьяка поступают в водные объекты со сточными водами обогатительных фабрик, отходами производства красителей, кожевенных заводов и предприятий, производящих пестициды, а также с сельскохозяйственных угодий, на которых применяются пестициды [4-6].

В природных водах соединения мышьяка находятся в растворенном и взвешенном состоянии, соотношение между которыми определяется химическим составом воды и значениями pH. В растворенной форме мышьяк встречается в трех- и пятивалентной форме, главным образом в виде анионов.

В данной работе осуществляется исследование физико-химических свойств образцов сорбционных материалов на основе вермикулита и керамзита, а также определение их сорбционных свойств при извлечении ионов  $As^{3+}$  из модельных растворов.

**Материалы и методы исследования**

В работе были исследованы два сорбционных, таких как: 1. Вспученный вермикулит модифицированный оксигидроксидом железа; 2. Керамзит модифицированный оксигидроксидом железа [2].

Исследовали величину удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) и удельный объём пор (P) образцов исследуемых сорбентов, где применяли метод тепловой десорбции азота (БЭТ), с использованием анализатора «СОРБОМЕТР М».

Процессы извлечения ионов  $As^{3+}$  из модельных растворов проводились в статических условиях. Модельные растворы готовили на бидистиллированной воде с использованием ГСО состава растворов ионов мышьяка (III). Для проведения эксперимента брали навеску исследуемого образца сорбционного материала массой 0,5 г, помещали её в стеклянный стакан объёмом 50 см<sup>3</sup> и заливали 50 см<sup>3</sup> модельного раствора. Навеску сорбента выдерживали в модельном растворе в течении 5 суток. После проведения процесса сорбции, раствор отделяли от сорбента центрифугированием при 10000 об/мин. и определяли равновесные концентрации адсорбатов ( $C_p$ ). Концентрации ионов  $As^{3+}$  определяли методом инверсионной вольтамперометрии [7].

**Результаты и их обсуждение**

Проводили определения свойств образцов исследуемых сорбционных материалов. В таблице представлены некоторые физико-химические параметры исследуемых образцов материалов: размер фракции, величина удельной поверхности и удельный объём пор.

Таблица 1

Размер фракции, величина удельной поверхности, удельный объём пор образцов сорбционных материалов

Образец	Размер фракции, мм	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г	$P$ , см <sup>3</sup> /г
Сорбент на основе вермикулита	0,7-1,5	112,17	0,046
Сорбент на основе керамзита		105,2	0,041

Как видно из таблицы 1, исследуемые образцы сорбентов имеют высокую величину удельной поверхности и удельного объёма пор. Немного большие значения наблюдаются у сорбционного материала на основе вермикулита.

В рамках данного исследования определены сорбционные характеристики представленных сорбентов при извлечении ионов  $As^{3+}$  из модельных растворов, в процессах статической сорбции. В таблице 2 представлены сорбционные свойства образцов сорбентов на основе вермикулита и керамзита при извлечении ионов  $As^{3+}$  из модельного раствора.

Таблица 2

Извлечение ионов  $As^{3+}$  из модельного раствора в процессе статической сорбции

Наименование сорбента	pH начальная (конечная)	Концентрация $As^{3+}$ в растворе до сорбции, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация $As^{3+}$ в растворе после сорбции, мг/дм <sup>3</sup>	Степень сорбции, %
Сорбент на основе вермикулита	4,3 (7)	0,5	0	100
	6,6 (7)	1	0	100
	3,4 (7,3)	2	0	100
	2,6 (6,4)	3	0	100
	3,2 (6,9)	4	0,00033	99,991
	3,2 (7,4)	5	0,000647	99,987
	2,6 (6,7)	10	0,00326	99,967
	2,2 (6,1)	15	0,00637	99,957
	2 (5,3)	20	0,0508	99,746
Сорбент на основе керамзита	4,3 (6,8)	0,5	0,000264	99,94
	6,6 (7,1)	1	0,00145	99,855
	3,4 (7)	2	0,0451	97,745
	2,6 (6,8)	3	0,0256	99,14
	3,2 (6,9)	4	0,0154	99,615
	3,2 (6,7)	5	0,0165	99,67
	2,6 (6,5)	10	0,028	99,72
	2,2 (6,3)	15	0,0374	99,75
	2 (5,5)	20	0,0731	99,63

Как видно из таблицы 2, наилучшие свойства при извлечении ионов  $As^{3+}$  из модельных растворов наблюдаются у сорбента на основе вермикулита. У сорбционного материала на основе керамзита видна тоже очень хорошая сорбционная способность при извлечении ионов  $As^{3+}$  из модельных растворов. При такой высокой степени очистки модельных растворов, чтобы построить изотермы адсорбции, необходимо готовить модельные растворы с гораздо большими начальными концентрациями по мышьяку.

#### Выводы

По итогам проведённых исследований определена величина удельной поверхности и удельный объём пор у образцов исследуемых сорбционных материалов. Получены сорбционные характеристики исследуемых сорбентов в процессе извлечения ионов  $As^{3+}$  из модельных растворов. Доказана возможность эффективного использования исследуемых образцов сорбционных материалов при извлечении ионов  $As^{3+}$  из воды.

Литература.

1. Путилина, В. С. Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах. Трансформация, адсорбция / десорбция, миграция : анализ. обзор / В. С. Путилина, И. В. Галицкая, Т. И. Юганова . – Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2011. – 249 с.
2. Немодрук А.А. Аналитическая химия мышьяка. М. Наука, 1976, с. 224.
3. Гамаюрова В.С. Мышьяк в экологии и биологии. - М.: Наука, 1993. - 208
4. Серова В.А. Коган В.И. Способы очистки сточных вод и технологических растворов от мышьяка. М. Цветинформация, 1977, с. 32.
5. Поляков М. Л. Очистка сточных вод гидromеталлургического завода Хову-Аксы от мышьяка. Цветные металлы, 1965, N 19, с. 32.
6. Шрабман Б. И. Юркова В.М. Павлова Е.И. Осаждение мышьяка из фтор- и фосфорсодержащих сточных вод. Химическая промышленность, 1974, N 5, с. 76.
7. Измерение массовой концентрации химических веществ методом инверсионной вольтамперометрии: Сборник методических указаний / Под ред. В. Б. Скачкова. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 271 с.

### ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ПОДЖИГ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ТЕРМИТОВ

*А.Н. Кошкарева, студент, В.Ю. Дурьманова, студент, М.Е. Кушнир, студент,  
ФГБОУ ВПО Кемеровский государственный университет, г. Кемерово,  
650043, г. Кемерово ул. Красная 6, тел. +7(3842)58-81-17  
E-mail: lira@kemsu.ru*

В настоящее время нанотермиты вызывают большой интерес благодаря широкой области применения [1]. Они могут применяться для синтеза ультрадисперсных материалов, использование наноматериалов может позволить лучше раскрыть потенциал газогенерирующих топлив [2]. Весьма перспективным может являться применение нанотермитов в качестве нетоксичного иницирующего энергетического материала. Нанотермиты являются высокоэнергетическим зажигательным и взрывчатым веществом. Полученные из ультратонких порошков алюминия и ультратонких порошков окислов металлов - обычно окиси железа (III), окиси молибдена или окиси меди, хотя могут также использоваться и другие соединения. Уменьшение размеров частицы компонентов энергетических материалов до наноразмеров, может значительно увеличить скорость горения и воспламенения [2]. Поэтому нанотермиты являются перспективным иницирующим материалом, которые широко используются в данной области.

В настоящей работе рассмотрена возможность использования импульсного лазерного излучения для иницирования самоподдерживающейся реакции горения нанотермитов состава  $\text{CuO-Al}$ ,  $\text{MoO}_3\text{-Al}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}$ .

Для получения нанотермитов, были использованы порошки оксидов меди (II), молибдена (VI), железа (III) и наноразмерный порошок алюминия (ALEX™). Масса навески составляла 10 мг. Порошки оксидов размалывались в планетарной мельнице, в течении 20 часов. Затем смешивались с наноалюминием в гексане, с помощью ультразвукового гомогенизатора. Полученная смесь сушилась на воздухе до полного испарения гексана. Образцы прессовались в специальных пресс-формах под давлением 0,2 ГПа в течение пяти минут. Полученные образцы, таблетки диаметром 3 мм, закрепляли на предметное стекло.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Излучение от лазера (1) передавалось по оптоволокну на коллиматор (2), который формирует параллельный пучок, иницирующий образец (3). Часть пучка отводилась с помощью делительной пластины (4) на фотодиод (5), сигнал с которого регистрировался на осциллографе (6).

Горение образца регистрировалось по свечению, с помощью модуля ФЭУ Hamamatsu H11526-20-NN (7). Свечение отводилось на фотоумножитель по оптоволокну.

За время зажигания был принят промежуток времени от начала импульса до момента появления сигнала свечения. Синхронизация всех элементов установки осуществлялась с помощью генератора импульсов Г5-56 (8).

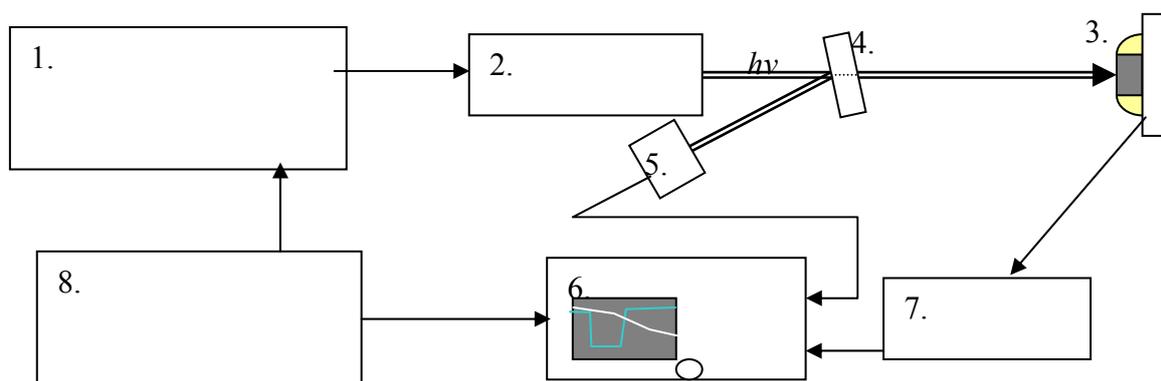


Рис. 1. Установка для осуществления лазерного иницирования

1-Лазер; 2. - Коллиматор; 3.-Образец; 4.-Делительная пластина; 5.-Фотодиод; 6.-Осциллограф Tektronix TDS3032B; 7.-Фотоэлектронный умножитель Hamamatsu H11526-20-NN; 8.-Генератор импульсов Г5-56.

В данном эксперименте для поджига образцов CuO-Al, MoO<sub>3</sub>-Al, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al использовались квазинепрерывный иттербиевый волоконный лазер IRE-Polus YLR-150/1500-QCW-AC с коллиматором IPG P30-001460 (длина волны – 1070 нм, длительность импульса 0,2-20 мс) и импульсный лазер LDPL10M (10 нс, 1064 нм).

Иницирование прессованных образцов CuO-Al, MoO<sub>3</sub>-Al, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al проводились импульсным лазером LDPL10M. Вероятностные кривые представлены на рис. 2, 3. Горение нанотермита состава MoO<sub>3</sub>-Al при иницировании не переходит в самоподдерживающийся режим, в отличие от CuO-Al и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al даже при увеличении экспозиции до 1,5 Дж/см<sup>2</sup>.

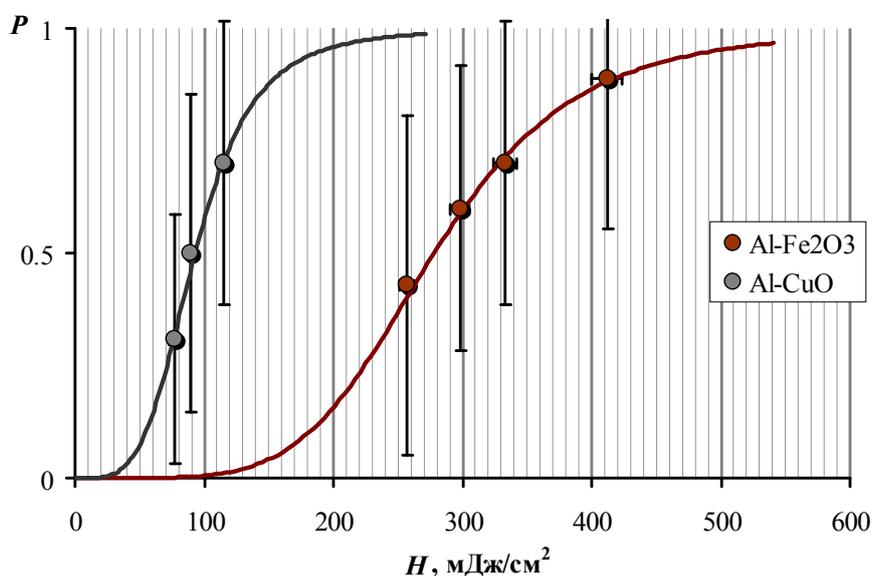
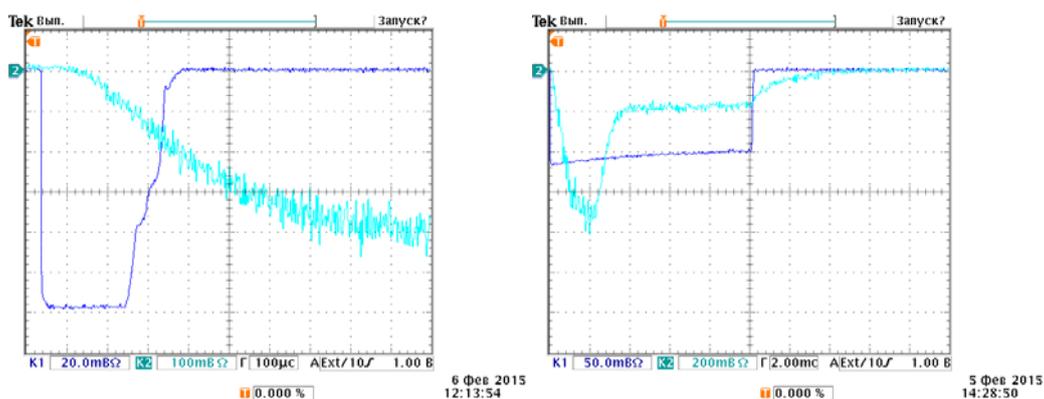


Рис. 2. Вероятностные кривые иницирования нанотермитов CuO-Al и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al

Далее проводилось иницирование на квазинепрерывном иттербиевом волоконном лазере составов CuO-Al и MoO<sub>3</sub>-Al.

На рис. 3 представлены осциллограммы свечения при поджиге составов и профиль лазерного импульса.

Рис. 3. Осциллограммы инициирования нанотермитов CuO-Al (слева) и MoO<sub>3</sub>-Al (справа)

Из полученных осциллограмм проводилось определение порогов лазерного инициирования нанотермитов и пороговой плотности энергии, состава CuO-Al и MoO<sub>3</sub>-Al.

Таблица 1

Значения пороговой плотности энергии исследованных составов

	CuO-Al	MoO <sub>3</sub> -Al
Пороговая плотность энергии (H), Дж/см <sup>2</sup> . при W=9*10 <sup>3</sup> Вт/см <sup>2</sup>	0,8	2,7
Пороговая плотность энергии (H), Дж/см <sup>2</sup> . при W=2.25*10 <sup>3</sup> Вт/см <sup>2</sup>	---	3,7

Поджиг нанотермита состава MoO<sub>3</sub>-Al также не переходит в самоподдерживающийся режим, горение продолжается только во время действия лазерного импульса.

Из полученных порогов лазерного инициирования, были сделаны следующие заключения, согласующиеся с [2, 3]:

Реакция горения нанотермитов состава CuO-Al и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al может переходить в самоподдерживающийся режим: 2CuO=2Cu<sub>2</sub>O+ O<sub>2</sub> (Т. разл.= 1100 C), 6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=4Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>+O<sub>2</sub>.

Нанотермит MoO<sub>3</sub>-Al при поджиге, в самоподдерживающийся режим не переходит. Поэтому для устойчивого горения необходим постоянный подвод энергии за счет излучения лазера.

Литература.

1. Piercey D. G., Klapoetke T. M. Nanoscale aluminum-metal oxide (thermite) reactions for application in energetic materials //Central European Journal of Energetic Materials. – 2010. – Т. 7. – №. 2. – С. 115-129.
2. М.К. Бернер, В.Е. Зарко, М.Б. Талавар. Наночастицы энергетических материалов: способы получения и свойства // Физика горения и взрыва, 2013, т.49, №6.
3. Zhou L. et al. Time-resolved mass spectrometry of the exothermic reaction between nanoaluminum and metal oxides: the role of oxygen release //The Journal of Physical Chemistry C. – 2010. – Т. 114. – №. 33. – С. 14269-14275.

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СОРБЦИОННЫХ ЗАГРУЗОК И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

*А.Ю. Мосолков, аспирант, И.В. Мартемьянова, аспирант, О.А. Воронова, ассистент,*

*Томский политехнический университет,*

*634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. (3822) - 60-61-14*

*E-mail: ornitolog99@gmail.com*

Проблема очистки подземных вод от различных химических загрязнений имеет большое значение [1]. Наиболее приоритетными видами загрязнений присутствующих в подземных водах являются соединения железа и марганца, а также соли жёсткости [2-3]. Железо находится в воде в двух валентном состоянии, а при взаимодействии с кислородом воздуха окисляется до трёх валентного состояния. Существуют различные способы очистки подземных вод от этих загрязнений, такие как: аэрация, ионный обмен, сорбция, каталитическое окисление. Для эффективного извлечения описан-

ных загрязнений из подземных вод как правило используют комбинацию данных методов очистки. Одним из распространённых методов, по удалению из воды ионов  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  является применение различных сорбентов и каталитических сорбентов [4-5]. Для извлечения из воды солей жёсткости как правило находят применение ионообменные смолы. Но часто необходимы материалы которые могли бы одновременно, эффективно удалять из воды различные виды загрязнений. Поэтому представляет интерес работа по комбинированию различных материалов, обладающих сорбционным, каталитическим и ионообменным эффектом, для лучшего извлечения разных видов химических загрязнений из воды.

В данной работе осуществляется исследование физико-химических свойств комбинированных загрузок и определение их свойств при извлечении различных химических загрязнений из модельных растворов.

#### Материалы и методы исследования

В работе были исследованы несколько комбинированных сорбционных загрузок, таких как: 1. Цеолит Сокирницкого месторождения в смеси с катионитом ТОКЕМ КУ-100, при соотношении 50×50 % масс.; 2. Каталитический сорбент ОДМ-2Ф в смеси с катионитом ТОКЕМ КУ-100, при соотношении 50×50 % масс.; 3. Горелая порода «Розовый песок», в смеси с катионитом ТОКЕМ КУ-100, при соотношении 50×50 % масс.; 4. Каталитический сорбент МФО-47 в смеси с катионитом ТОКЕМ КУ-100, при соотношении 50×50 % масс.

Исследовали величину удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) и удельный объём пор ( $P$ ) отдельных составляющих комбинированных загрузок, применяли метод тепловой десорбции азота (БЭТ), с использованием анализатора «СОРБОМЕТР М». Прибор «СОРБОМЕТР М» обеспечивает измерения удельной поверхности при различных парциальных давлениях газа-адсорбата по методу БЭТ в соответствии с ГОСТ 23401-90 и методу STSA, что позволяет дополнительно определять объём микропор и суммарный объём мезо- и макропор испытуемых образцов.

Процессы извлечения ионов  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  и солей жёсткости из модельных растворов проводились в статических условиях с использованием магнитной мешалки. Для проведения эксперимента брали навеску исследуемого образца комбинированной загрузки массой 1 г, помещали её в стеклянный стакан объёмом 100 см<sup>3</sup> и заливали 100 см<sup>3</sup> модельного раствора. Процесс осадительной сорбции проводили при времени контакта: 1, 5, 15, 30, 60 минут. После проведения процесса очистки раствора в статическом режиме, адсорбат отфильтровывали от сорбента на бумажном фильтре «синяя лента». Модельный раствор содержащий ионы  $Fe^{2+}$  готовили с использованием железа (II) сернокислого 7-водного, а раствор с наличием ионов  $Fe^{3+}$  получали с применением ГСО состава раствора ионов железа. Раствор содержащий ионы  $Mn^{2+}$  готовили с использованием марганца (II) сернокислого 5-водного. При приготовлении данных модельных растворов применяли дистиллированную воду. Начальная концентрация модельного раствора содержащего ионы  $Fe^{2+}$  составляла  $C = 15,58$  мг/дм<sup>3</sup>, а концентрация раствора с ионами  $Fe^{3+}$  была  $C = 10,13$  мг/дм<sup>3</sup>. Исходная концентрация ионов  $Mn^{2+}$  в модельном растворе была  $C = 2,02$  мг/дм<sup>3</sup>. В качестве раствора содержащего соли жёсткости использовали водопроводную воду, с концентрацией по солям жёсткости  $C = 6,45$  мг-экв/дм<sup>3</sup>. Начальные и конечные концентрации ионов железа и марганца в растворах определяли методом фотоколориметрии. Для определения содержания солей жёсткости в растворе применяли титриметрический метод.

#### Результаты и их обсуждение

Проводили исследования свойств отдельных составляющих образцов комбинированных загрузок. В таблице представлены некоторые физико-химические параметры исследуемых образцов материалов: размер фракции, величина удельной поверхности и удельный объём пор.

Таблица 1

Размер фракции, величина удельной поверхности, удельный объём пор отдельных составляющих образцов комбинированных загрузок

Образец	Размер фракции, мм	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г	$P$ , см <sup>3</sup> /г
Цеолит Сокирницкий	0,5 – 1,5	12,8	0,006
ОДМ-2Ф	0,5 - 2	28,1	0,012
Горелая порода «Розовый песок»	0,8 – 2	5,8	0,002
МФО-47	0,5 – 1,5	4,3	0,002
ТОКЕМ КУ-100	0,315 – 1,25	-	-

Как видно из таблицы 1, самые высокие величины удельной поверхности и удельного объёма пор у каталитического сорбента ОДМ-2Ф, а самые низкие у материала МФО-47. У катионита ТОКЕМ КУ-100 значения не определяли, в силу содержания в нём большого количества влаги (если влагу убрать, то при процессе сушки значения могут сильно измениться).

В работе определена эффективность образцов исследуемых комбинированных загрузок при извлечении ионов  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и солей жёсткости из модельных растворов. На рис. 1 представлены свойства образцов комбинированных загрузок при извлечении ионов  $\text{Fe}^{2+}$  из модельного раствора.

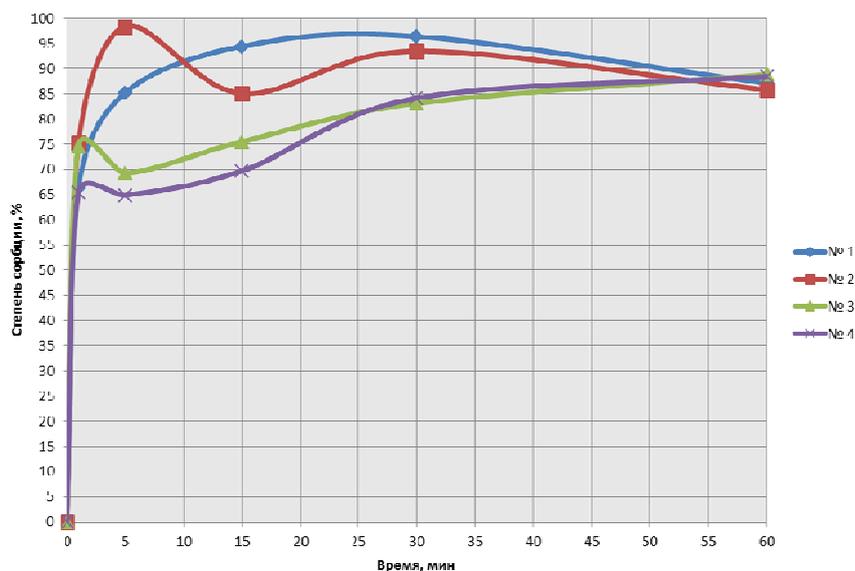


Рис. 1. Извлечение ионов  $\text{Fe}^{2+}$  из модельного раствора

Как видно из рис. 1, наилучшие свойства при извлечении ионов  $\text{Fe}^{2+}$  из модельного раствора показывает на пятой минуте процесса материал 2, при дальнейшем постепенном снижении свойств, в результате процесса десорбции. У материалов 3 и 4 на протяжении тридцати минут наблюдаются более низкие свойства при извлечении ионов  $\text{Fe}^{2+}$  из модельного раствора, а на шестидесятой минуте свойства сравниваются по отношению к материалам 1 и 2.

На рис. 2 представлен график зависимости способности образцов исследуемых загрузок при извлечении ионов  $\text{Fe}^{3+}$  из модельного раствора, при разном времени контакта материал-раствор.

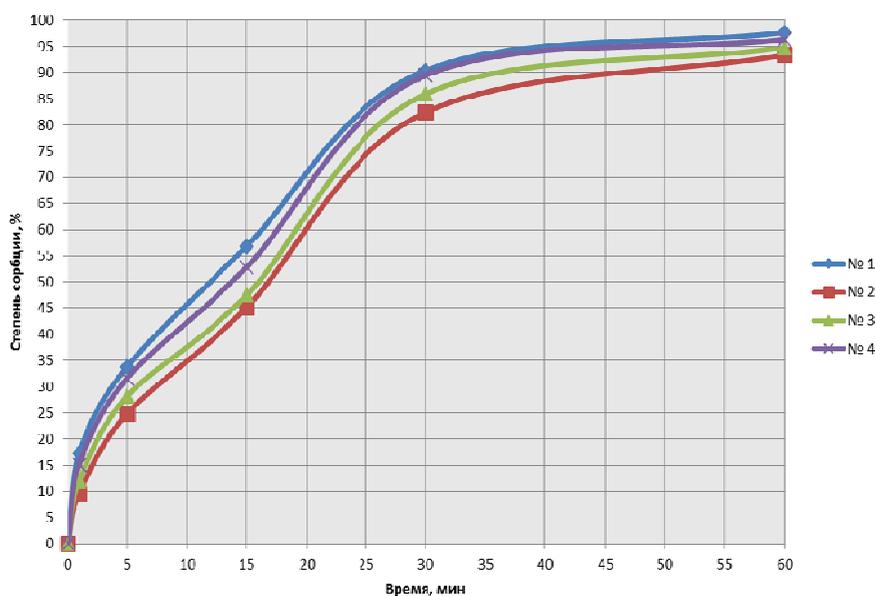


Рис. 2. Степень очистки раствора от ионов  $\text{Fe}^{3+}$  в зависимости от времени контакта

На рис. 2 видно, что свойства исследуемых образцов материалов при извлечении ионов  $Fe^{3+}$  из модельного раствора очень похожи. Но наилучшие свойства наблюдаются у материала 1, а наихудшие у материала 2.

Степень извлечения ионов  $Mn^{2+}$  из модельного раствора, при использовании комбинированных загрузок, представлена на рис. 3.

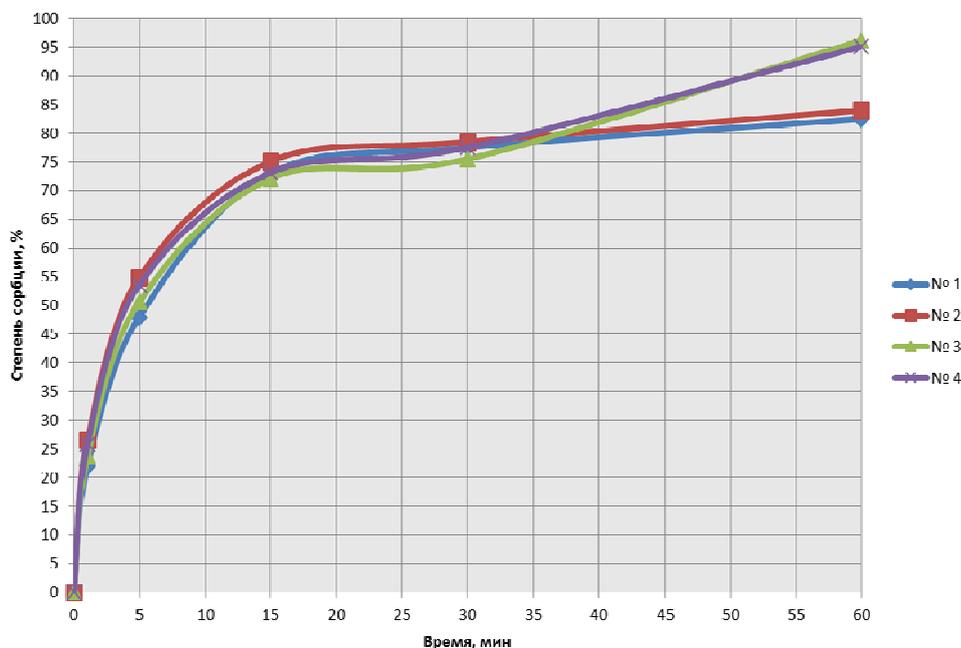


Рис. 3. Степень очистки раствора от ионов  $Mn^{2+}$  в зависимости от времени контакта

Из рис. 3 видно, что при времени контакта до тридцати минут, свойства исследуемых материалов по извлечению ионов  $Mn^{2+}$  из модельного раствора практически одинаковые. При шестидесяти минутах процесса перемешивания, у материалов 3 и 4 наблюдаются улучшенные характеристики по извлечению ионов  $Mn^{2+}$  из модельного раствора, по сравнению с материалами 1 и 2.

На рис. 4 представлены свойства исследуемых образцов комбинированных материалов при удалении солей жёсткости из модельного раствора.

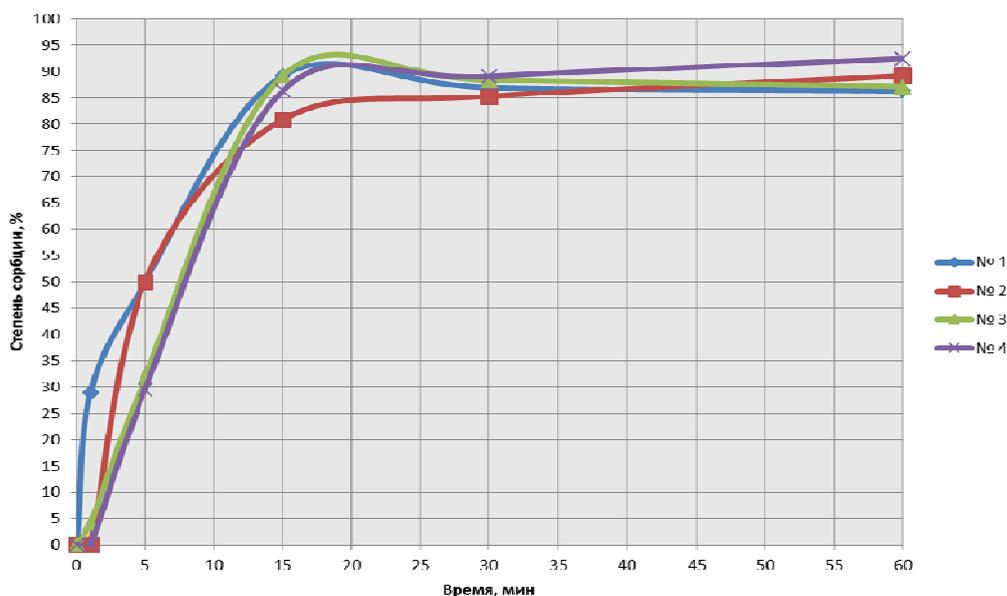


Рис. 4. Степень очистки раствора от солей жёсткости в зависимости от времени контакта

Из рис. 4 видно, что свойства исследуемых комбинированных материалов при извлечении солей жёсткости из модельного раствора практически одинаковы. При малом времени контакта немного лучшие показатели наблюдаются у материалов 1 и 2, а при более длительном процессе у загрузок 2 и 4.

#### **Выводы**

По итогам проведённых исследований определена величина удельной поверхности и удельный объём пор у отдельных составляющих комбинированных материалов. Получены характеристики комбинированных материалов при извлечении ионов  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  и солей жёсткости из модельных растворов. Доказана возможность эффективного использования полученных образцов комбинированных материалов при извлечении ионов  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  и солей жёсткости из водных сред.

#### **Литература.**

1. Мазур И. И., Молдаванов О. И., Шишов В. Н. Инженерная экология. Общий курс. Справоч. пособие / Под ред. И. И. Мазура. – М.: Высш. школа, 1996. – Т.2. – 638 с.
2. Очистка природных вод / Под ред. В. А. Клячков. – М.: Стройиздат. 1971. – 579 с.
3. Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец А. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
4. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды /А. Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
5. Теория и практика сорбционных процессов / Под ред. Е. В. Веницианова . – Воронеж, 1998. – Вып. 23. – 24 с.

### **РОЛЬ ХИМИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ**

*Ш.С. Нозирзода, ст. гр.10741, Л.Г. Деменкова, ст. преп.,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62*

*E-mail: n\_s\_e\_96@inbox.ru*

Мы знаем, что в народном хозяйстве огромную роль играет использование недр. Все, что связано с увеличением добычи полезных ископаемых, помогает разрешить насущнейшие хозяйственные проблемы. Для развития новой техники и технологий, в том числе и в горном деле, необходимы материалы с особыми свойствами, которых нет в природе: сверхчистые, сверхтвердые, сверхпроводящие, жаростойкие и т. п. Такие материалы поставляет современная химическая промышленность, поэтому можно понять важность ее изучения для инженера любой специальности. В электротехнической промышленности, например, более 80% продукции выпускается с применением полимерных материалов [1].

Еще недавно изучение месторождений полезных ископаемых было областью геолога, в которой не было места «негеологические мыслящему». Поиск и разведка полезных ископаемых велись методами полевой геологии, очень ценной по своим приемам, но недостаточной в своем настоящем виде для разрешения ряда практических вопросов. Наконец, само полезное ископаемое было объектом горного промысла только до момента его извлечения из недр Земли. С началом его переработки начинался новый этап, резко обособленный от горного дела. В области металлургии, по старым традициям, эти части единой задачи несколько сближались, но для нерудного и, в частности, солевого сырья, для химической промышленности разрыв между отдельными этапами был очень резким. По мере развития промышленности стало очевидным, что такое разделение неправильно и практически вредно. В горное дело все более и более стали внедряться химические методы. Усложнилось и самое использование природных объектов. Простое сжигание нефти сменилось сложными химическими и физическими приемами очистки и дистилляции – вплоть до крекинга. Глина из материала для строительства и для грубой керамики сделалась основным материалом для сложнейших керамических и физико-химических производств. Это вызванное потребностями жизни усложнение методов горнообработывающей промышленности непрерывно возрастало. Внедрение химических методов в процессы использования минерального вещества приняло сейчас гигантские размеры. Однако внедрение химической мысли в геологию, в проблемы научного изучения полезных ископаемых значительно отстает, и новые течения смелой химической, вернее говоря, геохимической мысли еще не всегда встречают признание и часто вызывают возражения.

Что представляет собой полезное ископаемое или его месторождение с научной точки зрения? Сейчас совершенно ясно, что каждое природное минеральное тело – это физико-химическая система, состоящая из определенных составных частей, образовавшаяся и существующая в определенной фи-

зико-химической обстановке. В каждом месторождении мы различаем, прежде всего, минеральное тело с определенным комплексом свойств, с определенным химическим составом, тесно связанное с известной обстановкой, с рядом спутников. Размеры тела и его свойства являются результатами каких-то определенных геологических процессов в широком смысле этого слова.

Современная минералогия различает, таким образом, самый минерал, его первичные составные части и процесс, положивший ему начало. Исследователь должен не только изучить данное полезное ископаемое, но также и выяснить историю и условия, при которых это ископаемое образовалось, вскрыть то, что мы называем генезисом. Изучением минерала или полезного ископаемого (что совершенно одинаково, так как полезность – понятие условное) занимается минералогия, а изучением отдельных элементов, входящих в состав его, и его спутников – геохимия. Изучение же природных физико-химических процессов – это область особой ветви минералогии, а именно генетической или, если можно так выразиться, исторической минералогии, которая как бы перебрасывает мост между минералогией и геохимией, с одной стороны, и дисциплинами чисто геологического характера – с другой.

Эта новая постановка вопроса вырисовывается еще более четко, когда мы подходим к изучению определенного месторождения полезных ископаемых, т. е. накопления их в более значительных количествах, когда встают вопросы залегания ископаемого, формы его глубины, распределения примесей, запасов и т. д. Все эти вопросы с должной полнотой разрешаются не столько механическим выявлением форм, элементов залегания, пространственных соотношений, сколько углубленным геохимическим анализом всей длинной истории данного месторождения, т. е. изучением процесса, который положил ему начало, и физико-химическим толкованием этого процесса. Именно поэтому изучение природного процесса приобретает огромное научное и практическое значение.

Каждая технология включает в себя несколько различных рабочих процессов: основной – добыча полезного ископаемого, вспомогательные и обеспечивающие. Реализация геотехнологических процессов добычи требует их всестороннего изучения, а также учета процессов сдвижения горных пород под влиянием сил горного давления. При ведении технологического процесса добычи взаимосвязь химических процессов в недрах очень сложная и может быть описана системой уравнений, совместное решение которых практически невозможно. Поэтому обычно рассматривают отдельные стороны процесса, определяемые основной химической реакцией и ее особенностями. Практический интерес представляет установление степени влияния различных факторов на равновесие системы и выбор способов, позволяющих «сдвинуть» это равновесие в сторону целевых продуктов под действием температуры, давления или концентрации рабочего агента. В промышленных условиях, как правило, процесс рассматривается на макроуровне, поэтому следует изучать взаимодействие агрегатов молекул, которые сопровождаются диффузией, конвекцией, выделением и распределением тепла.

Решение проблем горной науки может успешно осуществляться только на основе взаимодействия с другими науками. Можно предположить, что будущие успехи горного дела связаны с успехами химии, изучающей процессы превращения веществ в результате реакций, происходящих под влиянием различных факторов и взаимодействий. Так, например, в последние годы практически весь мировой прирост добычи золота связан с кучным выщелачиванием золота и использованием микроорганизмов в процессе обогащения [2]. Для повышения извлечения нефти активно используются поверхностно-активные вещества, на достижения химии опираются широко освоенные методы подземного скважинного выщелачивания урана, химического обогащения многих полезных ископаемых, методов защиты окружающей среды.

Связь химии с горным делом всеобъемлюща, и химия будет все шире проникать во все аспекты горного дела. Для успешного осуществления процессов добычи, обогащения, переработки полезных ископаемых нужна современная химия, которая изучает все возможные теоретически допускаемые сочетания различных элементов и условия образования горных пород и минералов. К сожалению, все факторы, влияющие на физико-химический процесс превращения, учесть невозможно, поэтому исследователю необходимо упрощать задачу, учитывая только главные для этого явления факторы.

Проще говоря, химики совместно с горняками должны быть в состоянии получить любые желаемые элементы из природных месторождений, они должны найти способы избирательного воздействия для выделения и получения нужных элементов при инертности рабочих реагентов к вмещающим породам.

Учитывая вышеизложенное, считаем, что знание основ химии важно для будущего специалиста горного дела. Кроме того, только на базе прочных химических знаний возможно успешное освоение таких дисциплин, как геология, материаловедение, горно-промышленная экология, основы горного дела и других учебных курсов профессионального цикла. Нами был проведен опрос студентов 1-5 курса, обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело» с целью выяснения понимания значимости изучения химии. Анкета состоит из пяти вопросов:

1. Как часто в горном деле пользуются знаниями химии?
2. Как часто химические методы используются при разработке месторождений?
3. Можно ли с помощью физико-химических методов определить возраст горной породы?
4. Можно ли с помощью физико-химических методов определить место залегания полезных ископаемых?

Ответы респондентов на первые четыре вопроса представлены на рис. 1.

Пятый вопрос – «Какие методы добычи полезных ископаемых относятся к химическим?» вызвал наибольшие затруднения. В этом вопросе было 6 вариантов ответа:

1. подземное растворение водой;
2. подземная возгонка;
3. подземная выплавка;
4. подземное выщелачивание растворами кислот, щелочей, других реагентов;
5. подземная термохимическая переработка полезного ископаемого;
6. разрушение рыхлых пород струей воды.

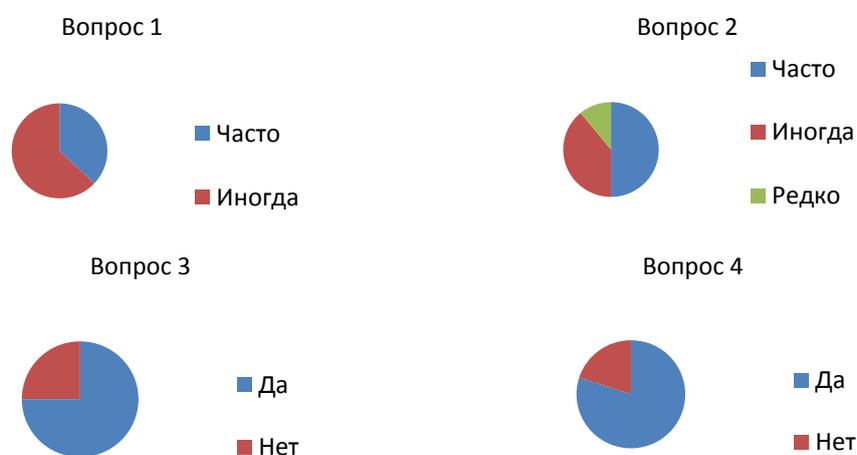


Рис. 1. Усреднённые результаты анкетирования студентов 1-5 курса специальности 21.05.04 «Горное дело»

К правильным ответам относятся 1, 4 и 5. Большинство опрошенных (40%) выбрали только один, четвёртый вариант ответа. Хотя он является верным, следует отметить, что студенты специальности 21.05.04 «Горное дело» имеют недостаточное представление о различии физических и химических превращений. Кроме того, анализ ответов студентов на вопросы анкеты позволяет сделать вывод о том, что при изучении химии следует больше внимания уделять заданиям с практической, профессиональной направленностью, установлению междисциплинарных связей химии со спецдисциплинами, формированию и развитию профессионально-значимых личностных качеств, компетенций и компетентностей.

Внедрение химических методов в технологию обогащения и в горное дело в целом – неизбежный процесс, связанный с природой самого минерального сырья и наблюдаемым ухудшением его состава. Наряду с развитием комбинированных схем, сочетающих основанное на разделении свободных минеральных зерен механическое обогащение и химические операции, постоянно возрастает роль химических методов и концепций в совершенствовании всех или большинства обогатительных процессов [3]. Поэтому студентам, обучающимся по специальности 21.05.04 «Горное дело» следует больше внимания уделять изучению химии.

Литература.

1. Арнс В.Ж. Физико-химическая технология. – М.: Изд-во Моск. Горного ун-та, 2011. – 656с.
2. Подземное выщелачивание полуэлементных руд. Под ред. Н.П. Лаврова. – М.: «АГН», 2008. – 324 с.
3. Биалалова Г. М., Биалалова Г. А. Применение новых технологий в добыче нефти. – М.: ИнФолио, 2009. –272 с.
4. Закиров С.Н., Индрупский И.М. Новые принципы и технологии разработки месторождений нефти и газа. Часть 2. – М.: Изд-во Ин-та компьютерных исследований, 2009. – 488 с.
5. Арнс В.Ж., Черняк А.С. Химия и микробиология в сфере горного дела / Горный информационно-аналитический бюллетень. – Вып. 8. – 2006. – С.304-313.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В ФЕНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ VA ГРУППЫ

*О.Х. Полещук<sup>1</sup>, д.х.н, проф., А.Г. Яркова<sup>2</sup>, к.х.н., М.Ю. Шпак<sup>2</sup>, магистрант,  
<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск,  
634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. (3822)-55-91-39  
<sup>2</sup>Томский государственный педагогический университет, г. Томск,  
634061, г. Томск ул. Киевская 60  
E-mail: olegpoleshchuk@mail.ru*

Проблема, которая является достаточно интересной, касается возможности и степени взаимодействия внешней неподеленной пары электронов гетероатома (НЭП) с  $\pi$ -электронами связанных с ним ароматических групп. В рамках метода МО рл-сопряжение связывается с вкладом НЭП гетероатома в высшие занятые МО (ВЗМО) ароматической системы. При этом сопряжение определяет электронные спектры поглощения, которые связаны с переходом электронов с высших занятых молекулярных орбиталей на низшие свободные молекулярные орбитали (НСМО). Состояние НЭП гетероатома в фенильных производных элементов V группы в значительной мере определяется конформацией молекул и, прежде всего, величиной валентного угла гетероатома [1].

В соответствии с состоянием валентных электронов элементов V группы ( $s^2p^3$ ) валентные углы в соединениях типа  $\text{ЭХ}_3$  в принципе могут варьировать от величин, близких к  $90^\circ$  ( $\sigma$ -связи Э-С образуются при участии р-орбиталей атома Э), до величин, близких к  $120^\circ$  ( $\sigma$ -связи Э-С образуются при участии  $sp^2$ -орбиталей атома Э), и соответственно состояние НЭП элемента в этих соединениях может изменяться от  $s^2$  до  $p^2$ . Чем больше вклад р-состояния в орбиталь НЭП, тем более вероятно перекрытие этой орбитали с  $\pi$ -орбиталями ароматического фрагмента или тем более вероятен (по симметрии) вклад этой орбитали в ВЗМО соответствующего соединения. Известно также, что НЭП находится под влиянием только одного атомного остова, и в максимальной степени стремится заполнить пространство вокруг этого атомного остова. Легко убедиться, что больший размер облака НЭП и ее более симметричное расположение по отношению к центральному остову приводят к уменьшению валентных углов между связывающими электронными парами.

Главная подгруппа пятой группы элементов периодической системы Д. И. Менделеева представляется достаточно интересным объектом изучения. Связано это со сравнительной простотой трехвалентных соединений, имеющих только одну НЭП на центральном атоме, с наличием достаточного набора экспериментальных данных, таких как геометрические параметры (длины связей и валентные углы), дипольные моменты, электронные спектры поглощения и т. п. Такие соединения представляют интерес также с точки зрения квантово-химического расчета [2].

Целью настоящей работы явилось применение метода функционала плотности к анализу электронного строения и спектральных параметров фенильных производных азота, фосфора, мышьяка и сурьмы. Полученные структурные параметры и электронные спектры поглощения сравниваются с экспериментальными дипольными моментами, рентгеноструктурными данными. Кроме того, в приближении локализованных молекулярных орбиталей проведена оценка зависимости структурных параметров от гибридизации центрального атома.

Полная оптимизация геометрии была осуществлена методом функционала плотности  $\text{sam-B3LYP}$  [3] по программе GAUSSIAN'03W [4]. Нами использован стандартный полноэлектронный базисный набор DGDZVP, позволяющий проводить расчеты молекул с атомами сурьмы [5]. Полученные структуры являются минимумами на поверхности потенциальной энергии (ППЭ). Это следует из проведенных нами расчетов частот колебаний во всех молекулах, показывающих отсутствие мнимых значений.

Достаточно хорошо известно, что качество любых квантово-химических расчетов определяется соответствием между экспериментальными и рассчитанными геометрическими параметрами молекул. Рассчитанные нами длины связей и валентные углы исследованных молекул вместе с доступными экспериментальными данными представлены в таблице 1.

Таблица 1

Рассчитанные и экспериментальные физико-химические параметры для фенильных производных элементов VA группы (в скобках приведены экспериментальные значения [6])

Молекула	$R_{Э-С}$ , Å	$\angle_{С-Э-С}$ , град.	Длина волны, нм (расчет)	Длина волны, нм (эксперимент)	Отнесение переходов в электронном спектре
NPh <sub>3</sub>	1.418 (1.418)	120 (119.6)	212 221 230 300 316	196 211 230 291 300	VЗМО-1→НСМО+1 VЗМО-1→НСМО+2 VЗМО→НСМО+3 VЗМО→НСМО+1 VЗМО→НСМО
PPh <sub>3</sub>	1.857 (1.842)	102.3 (103.0)	219 224 227 265 275	194 211 212 264 284	VЗМО-1→НСМО+1 VЗМО-1→НСМО+2 VЗМО→НСМО+3 VЗМО→НСМО+1 VЗМО→НСМО
AsPh <sub>3</sub>	1.963 (1.954)	99.9 (100.1)	217 239 262	195 222 248	VЗМО-1→НСМО+1 VЗМО-1→НСМО+2 VЗМО→НСМО
SbPh <sub>3</sub>	2.163 (2.186)	97.0 (97.0)	220 234 248 270 273	195 214 229 255 -	VЗМО-1→НСМО+1 VЗМО-1→НСМО+2 VЗМО→НСМО+3 VЗМО→НСМО+1 VЗМО→НСМО

В таблице 1 приведены рассчитанные и экспериментальные значения длин связей Э-С и валентных углов в рассчитанных соединениях. Видно, что как экспериментальные, так и рассчитанные значения длин связей увеличиваются сверху вниз по группе. При этом рассчитанные значения длин связей Э-С хорошо коррелируют с экспериментальными:

$$R_{Э-С}(\text{эсп.}) = -0,03 + 1,02 R_{Э-С}(\text{расч.}) \quad r=0,999; s=0,016; n=4$$

В этом и следующих корреляционных уравнениях  $r$  – это коэффициент корреляции,  $s$  – стандартное отклонение, и  $n$  – число соединений, входящих в корреляцию.

Рассчитанные значения валентных углов в пределах  $0,4^0$  также согласуются с экспериментальными:

$$\angle_{С-Э-С}(\text{эсп.}) = 3,0 + 0,97 \angle_{С-Э-С}(\text{расч.}) \quad r=0,999; s=0,4; n=4$$

Для объяснения изменения валентных углов в ряду N-Sb проведен расчет молекул с точки зрения локализованных МО, позволяющий судить о гибридизации как связывающих орбиталей Э-С, так и НЭП гетероатома.

Таблица 2

Результаты расчета в приближении локализованных МО

Молекула	Связь	Заселенность, e	Гибридизация	Ионность, %
NPh <sub>3</sub>	N-С	1,987	$sp^2$	61,60
	НЭП	1,651	p	
PPh <sub>3</sub>	P-С	1,959	$sp^{5,1}$	64,70
	НЭП	1,916	sp	
AsPh <sub>3</sub>	As-С	1,956	$sp^{6,7}$	65,74
	НЭП	1,954	$sp^{0,6}$	
SbPh <sub>3</sub>	Sb-С	1,951	$Sp^{10,3}$	71,64
	НЭП	1,947	$sp^{0,3}$	

В таблице 2 приведены результаты такого расчета. Для соединений элементов VA группы энергия гибридизации становится определяющей в строении молекул. Из таблицы 1 видно уменьшение как рассчитанных, так и экспериментальных валентных углов при переходе от первого элемента группы к следующим. Энергетическим фактором, способствующим уменьшению углов, можно считать гибридизацию. Известно, что на  $sp^3$ -гибридизацию, например атома фосфора требуется 620 кДж/моль. На основании этого энергетического барьера наиболее выгодным должно быть использование чистых p-орбиталей для образования связей, что позволит НЭП занять s-орбиталь. Противо-

действием этой тенденции является отталкивание электронов, как связывающих, так и неподделенных, что благоприятствует  $sp^2$ -гибридизации орбиталей центрального атома. Для молекулы  $NPh_3$  из-за небольшого размера атома преобладает отталкивание электронов и валентные углы близки к  $120^\circ$ . Для больших по размерам других центральных атомов энергия гибридации определяет преобладающий  $p$ -характер связывающих орбиталей, и валентные углы приближаются к  $90^\circ$ , что характерно для чистых  $p$ -связей. Эти общие рассуждения подкрепляются результатами нашего расчета. Из таблицы 2 видно, что при переходе от N к Sb гибридность НЭП гетероатома изменяется от чистой  $p$ - до  $sp^{0,3}$ , что указывает на уменьшение вклада  $p$ -орбиталей. По-видимому, уменьшение заселенности НЭП атома азота свидетельствует о значительном перекрывании этой орбитали с  $\pi$ -орбиталями ароматического фрагмента, и существенно меньшем перекрывании в случае остальных гетероатомов. Гибридность связывающих орбиталей Э-С изменяется от  $sp^2$  для азота (что характерно для валентного угла  $120^\circ$ ) до  $sp^{10,3}$  для сурьмы. Это объясняет уменьшение валентных углов в этом ряду. Кроме того, уменьшение заселенности связывающих орбиталей определяется увеличением длины связи Э-С, а увеличение ионности связи Э-С напрямую связано с уменьшением электроотрицательности центрального атома. При этом необходимо отметить, что в случае азота электронная плотность смещена на него, а в остальных молекулах – к атому углерода.

В таблице 1 приведены экспериментальные и рассчитанные длины волн в электронных спектрах поглощения, а также отнесение наблюдаемых электронных переходов. Можно видеть, что наблюдается хорошее согласие между экспериментальными и рассчитанными длинами волн.

$$\lambda (\text{эксп.}) = -40 + 1,11 \lambda (\text{расч.}) \quad r=0,971; s=8; n=17$$

На рис. 1 приведены визуализированные молекулярные орбитали, переходы электронов с которых дают электронные спектры. Отнесение полос представлено в таблице 1. Можно отметить преимущество расчета в том, что, прежде всего он, позволяет провести отнесение полос к определенным переходам. Во всех соединениях первые две коротковолновые полосы относятся к переходам  $\pi \rightarrow \pi$  типа, характерным для бензола, а две длинноволновые полосы можно отнести к переходам  $n \rightarrow \pi$ , включающим НЭП гетероатома. В третью коротковолновую полосу входят одновременно переходы как  $n \rightarrow \pi$ , так и  $\pi \rightarrow \pi$  типа. Это означает, что данная экспериментальная полоса в электронном спектре образуется в результате наложения ряда полос, соответствующих различным электронным переходам, что требует разложения спектра. В результате расчета получается однозначное отнесение рассчитанных полос поглощения к определенным электронным переходам.

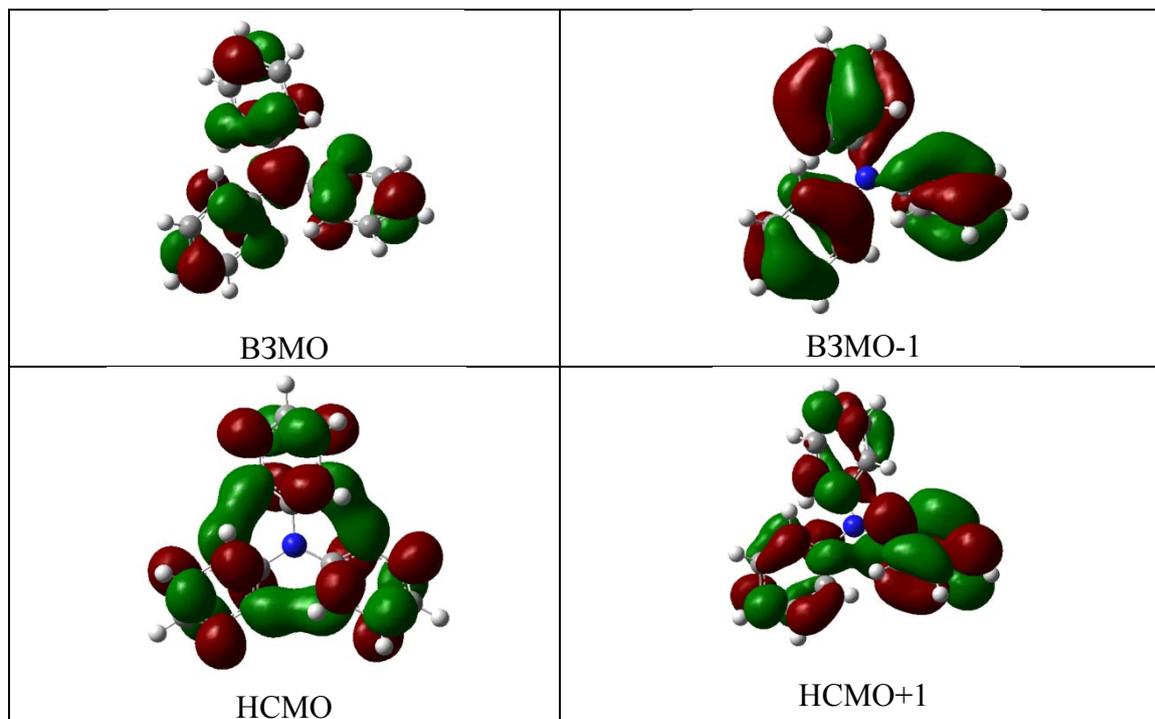


Рис. 1. Визуализированные молекулярные орбитали молекулы  $NPh_3$

## Литература.

1. Уэллс А. Структурная неорганическая химия. В трех частях. Ч. 2. М.: Мир, 1988. – 536 с.
2. Цирельсон В. Г. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела. М.: Бином, 2014. – 495 с.
3. Yanai T., Tew D. P., Handy N. C. // Chem. Phys. Lett. – 2004. – Vol. 393. – P. 51-57.
4. Frisch G.W., Trucks H.B., Schlegel P.M.W., Gill B.G., Johnson M.A., Robb J.R., Cheeseman T., Keith G.A., Petersson J.A., Montgomery K., Raghavachari M.A., Al-Laham V., Zakrzewski J.V., Ortiz J.B., Foresman J., Cioslowski B.B., Stefanov A., Nanayakkara M., Challacombe C.Y., Peng P.Y., Ayala W., Chen M.W., Wong J.L., Andress E.S., Replogle R., Gomperts R.L., Martin D.J., Fox J.S., Binkley D.J., Defress J., Baker J.P., Pople J. A.. Gaussian 03, Revision A. *Gaussian, Inc: Pittsburg, PA.* 2003.
5. Sosa C., Andzelm J., Elkin B. C., Wimmer E. Et al. // J. Phys. Chem. – 1992. – Vol. 96. – P. 6630-6636.
6. Ромм И. П., Гурьянова Е. Н. // Успехи химии. – 1986. – Т. 55. – С. 225–250.

**ЛИТИЙ-ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ**

*А.А. Садыков, Ш.Р. Джаборов, студенты гр. 10741, Л.Г. Деменкова, ст. преп.,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62  
E-mail: galavarezzz@mail.ru*

В 1800 году, с открытием так называемых «гальванических элементов», итальянский учёный А. Вольта заложил фундамент современных батарей. В 1859 году французский учёный Г. Плант открыл кислотно-свинцовые батареи, которые уже позволяли выполнять перезарядку. Их назвали аккумуляторами. Батареи, не поддерживающие перезарядку, вроде гальванических элементов, назвали первичными элементами, а перезаряжаемые батареи с тех пор относятся ко второй категории. Батареи используют два электрода, опущенных в электролит, и различаются, главным образом, материалом своих электродов и составом электролита. Кроме того, они различаются по своей физической форме. Чаще всего встречаются пальчиковые батарейки и «таблетки», а в сотовых телефонах используются плоские прямоугольные аккумуляторы. Первая щелочная батарея была получена в 1899 году химиком Юнгером. Он применил никель для положительного электрода, а кадмий – для отрицательного. В качестве электролита использовался гидроксид калия. Щелочная природа электролита и обусловила название элемента. Почти через 50 лет ( в 1946) Нейман создал первую герметично закрытую никель-кадмиевую батарею. «Первой ласточкой» среди новых типов батарей стали никель-металлгидридные аккумуляторы (NiMH). Они обеспечивают более высокую плотность накопления энергии (максимум 120 Вт/кг) по сравнению с идентичными никель-кадмиевыми элементами (максимум 80 Вт/кг). Кроме того, эти аккумуляторы не используют кадмий – высокотоксичный тяжёлый металл. Однако высокая энергетическая плотность батарей NiMH нивелируется уменьшением срока службы (часто его указывают в виде числа циклов перезарядки). Два-три года назад эти батареи предлагались в качестве более дешёвой альтернативы дорогим литиево-ионным аккумуляторам, впервые появившихся в продаже в 1991 году, особенно в «бюджетных» ноутбуках. Но перезаряжаемые аккумуляторы NiMH до сих пор остаются популярными среди других мобильных устройств, если посмотреть на число применений и количество проданных батарей.

До начала 90-х годов никель-кадмиевые батареи являлись самыми распространёнными аккумуляторами для бытовой электроники. Но в ноутбуках эти аккумуляторы не используются, что связано с появлением новых и более мощных типов батарей. Наиболее часто в мобильных устройствах (ноутбуки, мобильные телефоны, КПК и другие) применяют литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы. Это связано с их преимуществами по сравнению с широко использовавшимися ранее никель-металлгидридными (Ni-MH) и никель-кадмиевыми (Ni-Cd) аккумуляторами.

У Li-ion аккумуляторов значительно лучшие параметры. Однако следует учитывать, что Ni-Cd аккумуляторы имеют одно важное достоинство: способность обеспечивать большие токи разряда. Это свойство не является критически важным при питании ноутбуков или сотовых телефонов (где доля Li-ion доходит до 80% и их доля становится все больше и больше), но существует достаточно много устройств, потребляющих большие токи, например всевозможные электронные инструменты, электробритвы и т.п. До сих пор эти устройства являлись вотчиной почти исключительно Ni-Cd аккумуляторов.

ляторов. Однако в настоящее время, особенно в связи с ограничением применения кадмия в соответствии с директивой RoHS, резко активизировались исследования по созданию бескадмиевых аккумуляторов с большим разрядным током.

После множества испытаний в течение 1980-х годов выяснилось, что проблема литиевых аккумуляторов закручена вокруг литиевых электродов. Точнее, вокруг активности лития: процессы, происходившие при эксплуатации, в конце концов, приводили к бурной реакции, получившей название "вентиляция с выбросом пламени". В 1991 г. на заводы-изготовители было отозвано большое количество литиевых аккумуляторных батарей, которые впервые использовали в качестве источника питания мобильных телефонов. Причина – при разговоре, когда потребляемый ток максимален, из аккумуляторной батареи происходил выброс пламени, обжигавший лицо пользователю мобильного телефона.

Революцию в развитии перезаряжаемых литиевых аккумуляторов произвело сообщение о том, что в Японии разработаны аккумуляторы с отрицательным электродом из углеродных материалов. Углерод оказался весьма удобной матрицей для интеркаляции лития. Для того чтобы напряжение аккумулятора было достаточно большим, японские исследователи использовали в качестве активного материала положительного электрода оксиды кобальта.

При разряде Li-ion аккумулятора происходят деинтеркаляция лития из углеродного материала (на отрицательном электроде) и интеркаляция лития в оксид (на положительном электроде). При заряде аккумулятора процессы идут в обратном направлении. Следовательно, во всей системе отсутствует металлический (нуль-валентный) литий, а процессы разряда и заряда сводятся к переносу ионов лития с одного электрода на другой. Поэтому такие аккумуляторы получили название «литий-ионных», или аккумуляторов типа кресла-качалки. Во всех Li-ion аккумуляторах, доведенных до коммерциализации, отрицательный электрод изготавливается из углеродных материалов. Интеркаляция лития в углеродные материалы представляет собой сложный процесс, механизм и кинетика которого в существенной степени зависят от природы углеродного материала и природы электролита.

Углеродная матрица, применяемая в качестве анода, может иметь упорядоченную слоистую структуру, как у природного или синтетического графита, неупорядоченную аморфную или частично упорядоченную (кокс, пиролизный или мезофазный углерод, сажа и др.). Ионы лития при внедрении раздвигают слои углеродной матрицы и располагаются между ними, образуя интеркалаты разнообразных структур. Удельный объем углеродных материалов в процессе интеркаляции-деинтеркаляции ионов лития меняется незначительно. Литерованный оксид кобальта имеет потенциал около 4 В относительно литиевого электрода, поэтому рабочее напряжение Li-ion аккумулятора имеет характерное значение 3 В и выше.

Если в первичных литиевых элементах применяются разнообразные активные материалы для положительного электрода, то в литиевых аккумуляторах выбор материала положительного электрода ограничен. Положительные электроды литий-ионных аккумуляторов создаются исключительно из литированных оксидов кобальта или никеля и из литий-марганцевых шпинелей. В настоящее время в качестве катодных материалов все чаще применяются материалы на основе смешанных оксидов или фосфатов. Показано, что с катодами из смешанных оксидов достигаются наилучшие характеристики аккумулятора. Осваиваются и технологии покрытий поверхности катодов тонкодисперсными оксидами.

В процессе зарядки ионы лития из электролита восстанавливаются и внедряются в структуру графита с образованием соединения включения состава  $\text{LiC}_6$ :  $\text{Li}^+ + 6\text{C} + e^- \rightarrow \text{LiC}_6$ .

Распространенным типом катода литий-ионных аккумуляторов является литий-кобальтовый катод. В процессе зарядки на нем происходит окисление кобальтата лития:

$2\text{LiCoO}_2 \rightarrow \text{Li}^+ + e^- + \text{LiCo}_2\text{O}_4$ . Стандартная ЭДС литий-кобальтового аккумулятора равна 3,7 В. При разряде происходят обратные реакции.

Конструктивно Li-ion аккумуляторы, как и щелочные (Ni-Cd, Ni-MH), производятся в цилиндрическом и призматическом вариантах. В цилиндрических аккумуляторах свернутый в виде рулона пакет электродов и сепаратора помещен в стальной или алюминиевый корпус, с которым соединен отрицательный электрод. Положительный полюс аккумулятора выведен через изолятор на крышку (рис. 1). Призматические аккумуляторы производятся складыванием прямоугольных пластин друг на друга. Призматические аккумуляторы обеспечивают более плотную упаковку в аккумуляторной батарее, но в них труднее, чем в цилиндрических, поддерживать сжимающие усилия на электроды. В некоторых призматических аккумуляторах применяется рулонная сборка пакета электродов, который скручивается в эллиптическую спираль. Это позволяет объединить достоинства двух описанных выше модификаций конструкции.



Рис. 1. Устройство литий-ионного аккумулятора

Любые устройства нуждаются в определенном уходе. Это утверждение относится и к литий-ионным аккумуляторам, которые хотя и менее привередливы, чем никель-металл-гидридные, но также требуют к себе внимания. Проанализировав материалы в сети Интернет, мы вывели пять основных правил, придерживаясь которых можно долгое время поддерживать аккумуляторы в рабочем состоянии, и повысить продолжительность работы устройств без подзарядки.

1. Не допускайте полной разрядки литий-ионных аккумуляторов. У них отсутствует эффект памяти, поэтому их лучше подзаряжать, не допуская полной их разрядки. Производители указывают количество циклов полного разряда, которые, собственно, указывают на срок жизни литий-ионных аккумуляторов. Для высококачественных аккумуляторных батарей этот показатель составляет от 400 до 600 циклов. Для того, чтобы продлить срок жизни аккумулятора в своем телефоне, чаще его заряжайте. Оптимальным вариантом будет подзарядка телефона, когда уровень заряда его аккумуляторной батареи не опустится ниже 10-20%. Так вы сможете увеличить количество циклов разряда с 400-600 до 1000-1100.

2. Один раз в квартал разряжайте свой телефон. Как показывает опыт эксплуатации литий-ионных аккумуляторов, длительная их эксплуатация при полном заряде, так же вредна, как и частая полная разрядка. Так как мы заряжаем свой телефон, когда посчитаем нужным, и там, где получается, то необходимо один раз в три месяца полностью его разряжать, а затем зарядить так, как первый раз, т.е. поставить его на подзарядку в течение 8-12 часов. Таким образом, вы сможете сбросить верхний и нижний флаги заряда аккумуляторной батареи мобильного устройства.

3. Если вы продолжительное время не пользуетесь мобильным телефоном, то хранить его лучше частично заряженным, в пределах 30-50%. Оптимальная температура хранения аккумулятора составляет +15°C. Если хранить телефон с полностью заряженным аккумулятором, его емкость заметно снизится. Если же аккумулятор долгое время не заряжать, то скорее всего, вы его уже никогда не сможете зарядить и придется приобретать новый.

4. Необходимо использовать оригинальное зарядное устройство. Вообще, зарядное устройство чаще всего находится внутри мобильных устройств. А то, что мы называем «зарядкой» является внешним сетевым адаптером, функцией которого является понижение напряжения и выпрямление тока, потребляемого из бытовой электросети. То есть он не может воздействовать непосредственно на аккумуляторную батарею. А вот в цифровых фотокамерах зарядные устройства наружные, и если использовать вместо оригинального зарядного устройства какое-то случайное, то можно нанести непоправимый вред аккумулятору.

5. Самым большим врагом литий-ионных аккумуляторов является высокая температура окружающей среды. Поэтому их ни в коем случае нельзя оставлять на солнцепеке под прямыми солнечными лучами, рядом с электрообогревателями и другими источниками тепла. Литий-ионные аккумуляторы можно использовать при температуре от -40°C до +50°C.

Литий-ионные аккумуляторы больше страдают от процесса «старения» (ухудшение характеристик на протяжении времени), чем от циклирования. Это означает, что большинство аккумуляторов не может служить свыше 5 лет при обычных условиях эксплуатации (оптимистичный прогноз). Мораль такова – если покупаете литий-ионный аккумулятор, внимательно относитесь к дате изготовления – при полугодовой давности вы потеряете 10% от заявленного ресурса. Старение батарей

ускоряется при работе или хранении в жарких условиях (таблица 1) . Для литий-марганцевых и литий-железных батарей результаты немного лучше.

Таблица 1

Деградация характеристик литий-кобальтовых аккумуляторов в зависимости от температуры хранения [2]

Температура, °С	Снижение ёмкости, % от номинальной	
	1 год	2 года
0	98	94
25	96	80
40	85	75
60	75	60

Учитывая, что стандартом определения момента завершения жизни аккумулятора производителем является снижение его емкости до 80% от номинальной понятно, откуда появились 5 лет жизни (когда аккумулятор работает при температуре не выше 25°C и большинство времени находится в полуразряженном состоянии). Поэтому следует правильно организовывать охлаждение батарей при эксплуатации и заряжать аккумулятор непосредственно перед использованием, добиваясь среднего уровня заряда в процессе эксплуатации близкого к 40% . Практически при заряде батареи мобильного телефона раз в 3-4 дня до 80-90% емкости и ношении его во внешнем кармане одежды срок жизни достигает более четырёх лет при сохранности емкости [3].

Следует учитывать температурный фактор и при эксплуатации литий-ионных аккумуляторов – разряд может осуществляться и при низких температурах (в зависимости от химии аккумулятора от -25°C до -10°C), но заряд должен производиться только при положительной температуре батареи. Соблюдение всех указанных предосторожностей позволит достигнуть большого срока жизни (ресурса) литий-ионного аккумулятора и он будет долго радовать владельца своей емкостью и низким уровнем внутреннего сопротивления. Также каждые 6-12 месяцев появляются литий-ионные аккумуляторы на основе других химических соединений и внутренней конструкции с другими характеристиками. К заявлениям производителей по поводу новых аккумуляторов нужно относиться с известной долей скептицизма, поскольку только опыт длительной эксплуатации может дать ответ на вопросы соответствия заявленных параметров реальным и проверить решения по поводу правильной эксплуатации литий-ионных аккумуляторов.

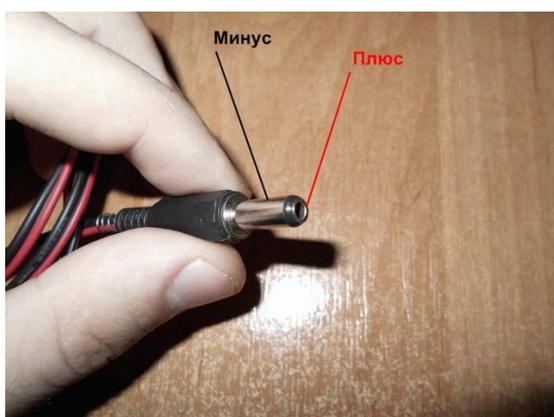


Рис. 2. Разъём блока питания



Рис. 3. Блок питания

Нами была предпринята попытка восстановления нерабочего литий-ионного аккумулятора от мобильного телефона. Для этого были использованы блок питания который выдаёт постоянное напряжение от 5 до 12 Вольт; резистор номиналом от 330 до 1000 Ом, рассчитан на мощность 0,5 Вт; вольтметр для того, чтобы контролировать напряжение.

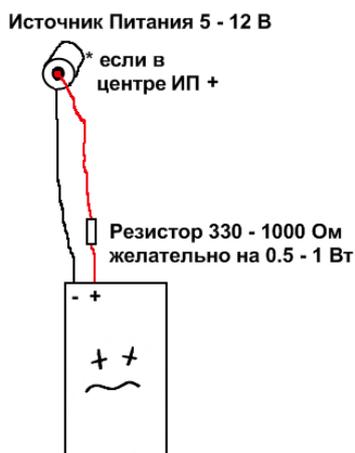


Рис. 4. Схема подключения [2]

Как правило, большинство блоков питания от Wi-Fi роутеров, и модемов идут с разъемом 2,5 мм (рис. 2). Почти всегда центральный контакт разъема имеет плюс, а боковой минус, и еще, как правило, полярность изображают на самом корпусе блока питания (рисунок 3). Как видно на рисунке, блок выдает постоянное напряжение 12 В, об этом свидетельствует значок посередине между 12 V и 2,0 A. Ток блока питания должен быть выше 0,1 А. Отключаем блок питания от сети, чтобы уберечься от короткого замыкания, которое может вывести из строя блок, подключаем так, как показано на рис. 4.

Вольтметр должен показать увеличение напряжения до 3,3 В. После этого обязательно нужно следить за температурой аккумулятора на протяжении всего процесса заряда, если аккумулятор начнет быть более чем теплым или горячим, немедленно вынимаем аккумулятор из устройства, он восстановлению уже не подлежит.

Ток зарядки должен быть не более 50 мА, напряжение – не выше 4,2 В, в сети есть достаточно видео с возгоранием литиевых аккумуляторов. Весь процесс восстановления работоспособности аккумулятора должен проводиться только под наблюдением. Почему это работает? Дело в том, что в аккумуляторах от многих портативных устройств есть контроллер, который следит за напряжением на аккумуляторе. Если аккумулятор не использовать, или же он долго полежит в разряженном состоянии, то контроллер как бы отключает рубильник, который соединяет аккумулятор от контактных площадок к которым подключается устройство (рис. 5).



Рис. 5. Контактные площадки

Делается это для защиты устройства, и к тому же потребитель через некоторое время должен покупать новую продукцию. В литературе есть данные, что литий-ионные батареи крайне не рекомендуется полностью разряжать, равно как и заряжать сверх меры. Это может привести к поломке аккумулятора, которая чаще всего сопровождается взрывом. Литий-полимерные аккумуляторы являются модификацией литий-ионных аккумуляторов. Полимерный электролит менее взрывоопасен и в последнее время, по статистическим данным ряда сайтов, литий-полимерные аккумуляторы начинают твердо завоёвывать позиции на рынке продаж.

Литература.

1. Несложный способ восстановления работоспособности Li-Ion аккумуляторов от портативных устройств // <http://habrahabr.ru/post/239211/>
2. Какой аккумулятор лучше всего? // <http://iblog.net.ua/2013/02/07/kak-pravilno-obrashhatsya-s-litij-ionnymi-akkumulyatorami/#ixzz3ZiWN97c>.
3. В чем разница между литий-ионным и литий-полимерным аккумулятором? // [http://trashbox.ru/topics/36543/eto-interesno-2\\_v-chem-raznica-mezhdu-litij-ionnym-i-litij-polimernym-akkumulyatorom](http://trashbox.ru/topics/36543/eto-interesno-2_v-chem-raznica-mezhdu-litij-ionnym-i-litij-polimernym-akkumulyatorom).
4. Литий-ионные аккумуляторы // <http://www.dig.by/book/export/html/10>.
5. Взрывоопасность литий-ионных батарей на ноутбуках // <http://hi-news.ru/computers/vzryivoopasnost-litij-ionnyih-batarey-na-noutbukah-video.html>.

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

*М.А. Платонов, к.т.н., доцент, А. Серикбол, ст. гр. 10В20,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: aikosha94s@mail.ru*

При оценке вероятности взрывоопасности металлургического производства необходимо учитывать специфические особенности: пользование большим количеством газообразных жидких и твердого дисперсного топлива, большая известность высокотемпературных технологических процессов, наличие большого количества расплавленного металла, преобразование взрывоопасных газов в результате металлургических процессов, большое использование разных взрывоопасных материалов, готовящихся временами на этих предприятиях. Большое применение взрывоопасных материалов, увеличение их химической активности, внедрение ряда новых технологий, объединённых с их применением, повышает вероятность образования и масштабы возможных последствий взрыва.

В металлургическом производстве в большинстве случаев к взрыву влекут преобразование химической и тепловой энергий. Взрывы с включением тепловой энергии сжатых газов или паров формируются при неправильной эксплуатации компрессоров, автоклавов, трубопроводов, баллонов и других видов оборудования, работающего под давлением. Проблема обозначения потенциальной взрывоопасности оборудования и оценка условий ее определения в этом случае не представляет какой либо трудности, а вопросы обеспечения безопасности разработаны в достаточной степени.

Обращающиеся в металлургическом производстве взрывоопасные материалы условно делят на 4 группировки:

- 1) смеси горючих газов с кислородом, воздухом или другими окислителями;
- 2) смеси паров легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ПЖ) с воздухом или другими газообразными окислителями;
- 3) аэрозвеси или взвеси в какой-либо окислительной среде дисперсных горючих материалов;
- 4) конденсированные (целиком жидкие или твердые) взрывчатые системы.

Из взрывоопасных газов в металлургическом производстве чаще всего встречается водород, метан, оксид углерода, пропан, ацетилен. Относительная взрывоопасность этих газов определяется содержанием в них водорода и оксида углерода, а также метана.

Статистический анализ аварий и травматизма на металлургических предприятиях.

За последние годы количество чрезвычайных ситуаций техногенного характера по-прежнему остается на высоком уровне.

К наиболее тяжелым последствиям, приносящим материальный ущерб и групповые несчастные случаи, приводят аварии на взрывопожароопасных производствах, которые присущи любому металлургическому предприятию. По количеству аварий, связанных с взрывами и пожарами, металлургического производства находится на 2-м месте после объектов химии и нефтепереработки. Количество пожаров и взрывов в 4 раза меньше, нежели в нефтеперерабатывающей промышленности, но на много превышает их число в остальных отраслях.

Большая часть аварий происходит из-за прогара фурм в металлургических агрегатах, прогара гона, воздухопроводов доменных печей. Несмотря на тенденцию уменьшения количества аварий,

количество инцидентов в металлургическом производстве остается на постоянно высоком уровне, о чем свидетельствуют данные о работе газоспасательных служб (ГСС) металлургических предприятий. По данным Ростехнадзора, количество выездов сотрудников ГСС значительно превышает количество официально зарегистрированных аварий.

Количество аварий, несмотря на их снижение (по официальным данным), приводит к существенному материальному ущербу.

Анализ происшедших несчастных случаев со смертельным исходом показал, что основными их причинами явились: неудовлетворительная организация и проведение работ (60 %); неисправность оборудования (30 %); нарушения технологических инструкций при ведении металлургических процессов (10 %).

На состояние аварийности и промышленной безопасности на металлургических и коксохимических предприятиях негативно влияют следующие факторы:

- физический износ технологического оборудования;
- несвоевременное и некачественное проведение капитального и текущего ремонта оборудования, зданий и сооружений;
- эксплуатация оборудования с отработанным нормативным сроком;
- применение несовершенных технологий;
- неконтролируемое сокращение численности квалифицированных специалистов и производственного персонала;
- снижение качества профессиональной подготовки производственного и ремонтного персонала.

Также анализ аварийности и травматизма показал, что основными причинами аварий ЛЛПМК являются конструктивные недостатки, нарушения при строительстве и эксплуатации оборудования.

Все это приводит к выводу, что обеспечение надежности и безопасности листовых линейно протяженных металлических конструкций потенциально опасных объектов в настоящее время является чрезвычайно острым и актуальным вопросом. Для его решения применяются в основном два направления: постоянный мониторинг технического состояния и установление технического состояния конструкций на основе применения современных методов неразрушающего контроля с оценкой остаточного ресурса и определением срока его последующей безопасной эксплуатации.

На металлургических предприятиях одним из основных факторов, повышающих риск аварий на опасных производственных объектах, продолжает оставаться высокая степень износа основных производственных фондов на фоне низкой инвестиционной и инновационной активности в металлургической промышленности. Поэтому проблема обеспечения промышленной безопасности становится еще более актуальной.

Основой анализа риска аварий являются идентификация опасных и вредных производственных факторов, признаки опасных производственных объектов, характеристики технологических и производственных операций, квалификация кадров, техническое состояние оборудования, зданий и сооружений. Такие разработки позволяют выработать рекомендации по прогнозированию и предупреждению взрывов и пожаров при авариях на опасных производственных объектах металлургического производства.

Развитие техносферы, увеличение плотности населения крупных городов на фоне проблем нарастающих угроз экономического кризиса создает предпосылки к возрастанию рисков, обусловленных негативными техногенными проявлениями. Перспективы устойчивого развития ставят задачи формирования эффективной системы кризисного управления на основе выработки и реализации стратегических решений, направленных на обеспечение безопасности функционирования опасных объектов и территорий городских поселений, устойчивого развития территорий на основе системного подхода к решению задач единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС.

Планирование и принятие своевременных, эффективных, адекватных угрозам управленческих решений (УР) органами исполнительной власти является одной из важнейших задач устойчивого развития территорий, обеспечения безопасности населения.

Сложно говорить о стратегии, когда не все решено в окопах сил, противоборствующих опасности на локальном (объектовом) уровне.

Рассмотрим объект экономики как источник опасности, расположенный в городской черте. Пусть это будет потенциально опасный объект.

Основные опасности объекта описаны в его декларации и паспорте безопасности. Последствия аварии на таком объекте учтены в Паспорте безопасности территории (муниципального образова-

ния). По прогнозам возможных ситуаций подготовлены. Планы действий по предупреждению и ликвидации ЧС на объектовом и территориальном уровне, а также на объектовом выполняется более детализированный План локализации аварийной ситуации (идеальный случай).

Для реализации требований МЧС России такой объект создает свои аварийные и спасательные службы либо (и) заключает договор обслуживания с территориальными силами РСЧС – АСФ (Российская единая система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций – аварийно-спасательных формирований).

Этот факт учитывается при планировании действий.

Вот здесь и начинаются невидимые в нормальных условиях «мины замедленного действия».

1. Заключение договора с АСФ не решает проблем эффективной ликвидации ЧС. Состав привлекаемых сил в АСФ ограничен и может быть значительно меньше требуемой в ЧС величины.

2. Теоретически эту требуемую величину можно получить, заключив договора с несколькими АСФ. Но в этом случае найти виновного за неэффективное ведение спасательных работ будет невозможно. В этом случае и управление спасательными работами организовать непросто. Решение в судебном порядке будет не в пользу и без того виновного за ЧС объектика. Кроме того, потребуется совместная тренировка действий и распределение зон ответственности. В практике взаимодействия с предприятиями таких решений не встречалось.

3. На момент необходимого привлечения сил АСФ последних может просто не быть ни физически, ни юридически. Опять же предъявить претензии в этом случае не к кому.

Объект, заключив договор, не отслеживает «самочувствие» исполнителя по договору. Для организации управления объектовой подсистемой РСЧС предприятия в интересах устойчивого функционирования в условиях различных дестабилизирующих факторов (наиболее вероятных и (или) наиболее опасных по прогнозу последствий) важно обеспечить руководителя ликвидации ЧС и ведущих специалистов объективной и достоверной информацией, необходимой для принятия решения.

4. Из вышесказанного видно, что достоверности и объективности не хватает уже при планировании привлекаемых сил. В планах действий нет такого параметра как сроки ликвидации ЧС. Нет сроков ограничения проведения спасательных и аварийно-восстановительных работ (АСР) на федеральном уровне. Это буквально означает, что ускорить ведение АСР на аварийном объекте, предъявив к нему претензии органами местного самоуправления невозможно даже в том случае, когда последствия аварии сказываются на населении.

5. Отсутствие нормативов на ликвидацию ЧС (в частности локальной) ставит в тупик саму теорию планирования сил и средств для ликвидации ЧС. На практике используют столько сил, сколько возможно привлечь. Надзорным органам МЧС России, отстаивающим интересы населения этого мало. Надо четко ответить на вопрос: «Сколько надо?». Ответить можно только задав временной параметр на федеральном уровне для локальных и муниципальных ЧС. Тогда будет повод спросить по срокам и оценить эффективность действий АСФ. Руководитель организации, эксплуатирующей объект, будет сам понимать необходимость высокого уровня готовности к ликвидации ЧС. Сегодня ликвидация ЧС проводится с белого листа иногда без использования ранее подготовленного плана.

6. Опыт показывает, что передовиками в борьбе за безопасность являются те организации, где аварийный простой эксплуатируемых объектов приносит самому предприятию серьезный ущерб экономический и моральный. Где аварийные ситуации сказываются на коммерческом имидже предприятия. Пример – грузоперевозчики.

Интересно, что МЧС России (единственное в стране) на федеральном уровне утвердило сроки прибытия сил ГПС (гибкие производственные системы) на пожар; есть сроки локализации аварийных разливов нефти; есть ведомственные нормативы прибытия БСМП (больница скорой медицинской помощи) и все.

Пора двигаться дальше. Обосновывать и утверждать сроки ликвидации ЧС на опасных объектах, критически важных для национальной безопасности, на социально значимых объектах.

В частности, для опасных объектов должен быть установлен срок локализации аварии (локальной ЧС) не более 24 часов. Такие сроки связаны с необходимостью эвакуации населения из зоны ЧС в случаях, когда последствия аварии на опасном объекте сказываются на населении.

Для объектов социально значимых, объектов жизнеобеспечения населения сроки ликвидации ЧС должны быть еще более жесткими (особенно в зимнее время).

Видно, что в каждом конкретном случае нас интересуют востребованные ситуацией параметры. Это либо время локализации ЧС, либо время ликвидации ЧС. Для объектов жизнеобеспечения составной частью ликвидации ЧС будет и время восстановления работоспособного состояния.

Очевидно, что эта тема перспективна с точки зрения научного обоснования требований по ликвидации ЧС.

Реформы, происходящие сегодня в экономике России, требуют повышения качества управленческих решений, принимаемых на всех уровнях. Особенно важно в связи с нарастанием угроз экологического и экономического характера, усилением значимости всех видов рисков. Требуют безотлагательного решения, по крайней мере, две составляющие этой проблемы: во-первых, совершенствование современных методик планирования сил и средств АСФ, планирования действий органов управления; во-вторых, организация и развитие своевременной системы профессиональной подготовки, переподготовки, повышения квалификации специалистов и руководителей предприятий.

Литература.

1. <http://window.edu.ru/resource/950/36950/files/stup176.pdf>.
2. <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074801/#8>.
3. [http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00090512\\_3.html](http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00090512_3.html).
4. <http://www.derrick.ru/?f=n&id=16871>.

#### **ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОПЛЕНОК Mn, MoO<sub>3</sub> В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ПРИ T=773 К**

*О.А. Старкина, студентка, Е.И. Калабухова, студентка,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,  
г. Кемерово, ул. Красная, 6*

*E-mail: starkinaolga@mail.ru; katerinotchka-4@mail.ru*

Изучение закономерностей процессов, протекающих в наноразмерных слоях различных материалов под действием энергетических факторов, является актуальным в наши дни. Наряду с необходимостью создания прочного физико-химического фундамента наноструктурированного состояния вещества, представляется необходимым изучение наноразмерных пленок, для получения новых функциональных материалов с управляемым уровнем чувствительности к различным внешним воздействиям. А также в связи с разработкой принципиально новых материалов, стабильных в условиях коррозионного воздействия окружающей среды.

Марганец широко используется в черной металлургии и сплавах. Соединения Mn используются в производстве стекла, в керамической, красильной и полиграфической промышленности, в сельском хозяйстве. Использование нанопленок оксида молибдена в промышленности, электронике и химии привлекают внимания ученых всего мира. Полупроводниковые пленки могут использоваться для изготовления различных микросхем, транзисторов, газовых датчиков и т.д. Наноразмерные слои оксида молибдена (VI) могут быть использованы при создании термодатчиков, сенсоров для контроля содержания окислов азота в атмосфере, информационных устройств с большим объемом памяти и др. Триоксид молибдена проявляет электрохромные и термохромные свойства. На основе электрохромного эффекта становится возможным создание устройств, которые кроме визуализации электрических сигналов, могут быть использованы для управления интенсивностью световых потоков, для записи и регистрации информации светом или визуализации инфракрасного, ультрафиолетового и рентгеновского излучений [1–3].

Целью работы являлось исследование закономерностей изменения оптических свойств наноразмерных пленок Mn и MoO<sub>3</sub> до и после термообработки при T=773 К.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких (2 – 23 нм) пленок марганца и оксида молибдена (VI) на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». Толщину пленок определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») и микроскопическим (интерференционный микроскоп «МИИ-4») методами. Термическую обработку образцов осуществляли в сушильном шкафу «Тулячка ЗП». Регистрацию спектров поглощения и отражения до и после термической обработки образцов осуществляли спектрофотометрическим методом (в диапазоне длин волн  $\lambda = 190-1100$  нм, используя спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»).

В результате исследований оптических свойств наноразмерных пленок Mn и MoO<sub>3</sub>, нанесенных на стеклянные подложки, до, в процессе и после термической обработки в атмосферных условиях было установлено, что спектры поглощения и отражения образцов зависят от толщины слоев MoO<sub>3</sub> и Mn и времени термообработки.

В результате термической обработки (T= 773 K) слоев Mn разной толщины спектры поглощения и отражения образцов претерпевают существенные изменения

На рис.1 приведены спектры поглощения пленок марганца различной толщины до термической обработки. Видно, что по мере увеличения толщины пленок марганца при постоянной температуре термической обработки наблюдается последовательное уменьшение эффектов изменения оптической плотности образцов и увеличение времени достижения ее предельного значения во всем исследованном спектральном диапазоне.

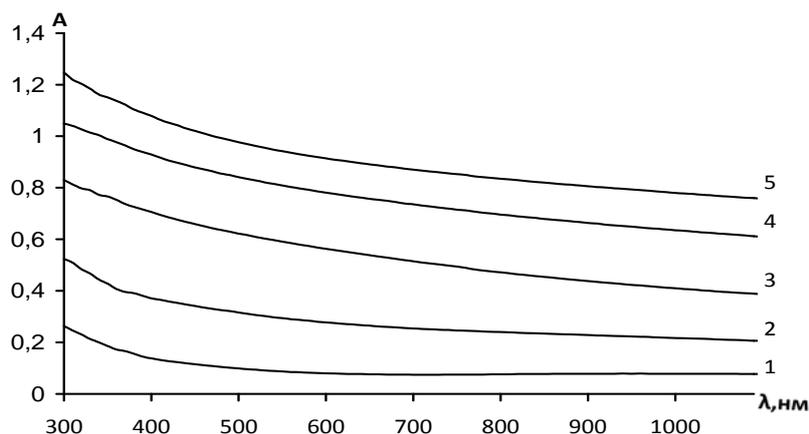


Рис. 1. Исходные спектры поглощения пленки Mn с разными толщинами:  
1 - 2; 2 - 7; 3 - 13; 4 - 19; 5 - 23 нм

На рис. 2 приведены спектры поглощения марганца (d=23 нм) до и после термообработке при T=773K. Видно, что термическая обработка приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образцов. Наряду с уменьшением в исследуемом диапазоне длин волн ( $\lambda = 300-1100$  нм) оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

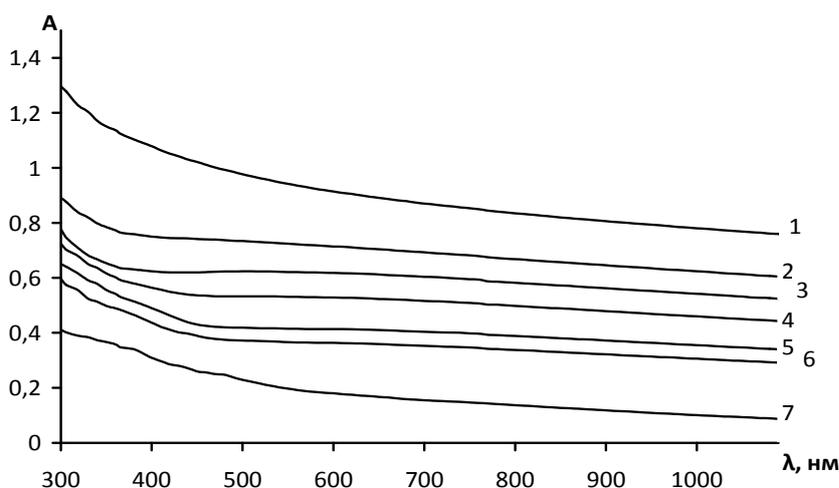


Рис. 2. Спектры поглощения Mn (d=23 нм) до (1) и после термообработки при T=773K в течение: 2 – 60; 3 – 120; 4 – 180; 5 – 240; 6 – 300; 7 – 1200 сек

На рис. 3 приведены спектры поглощения пленок триоксида молибдена различной толщины до термической обработки. Для образцов  $\text{MoO}_3$  разной толщины можно выделить коротковолновую  $\lambda < 330$  нм и длинноволновую  $\lambda > 330$  нм области поглощения. В процессе термического воздействия вид спектра изменяется. Причем характер изменения оптической плотности неодинаков в разных областях спектра. В коротковолновой области в диапазоне длин волн  $\lambda = 300 - 480$  нм оптическая плотность пленок  $\text{MoO}_3$  уменьшается с максимумом  $\lambda = 350$  нм (что приводит к смещению края полосы поглощения в коротковолновую область спектра), в длинноволновой области в интервале  $\lambda = 480 - 1000$  нм возрастает с максимумом  $\lambda = 870$  нм.

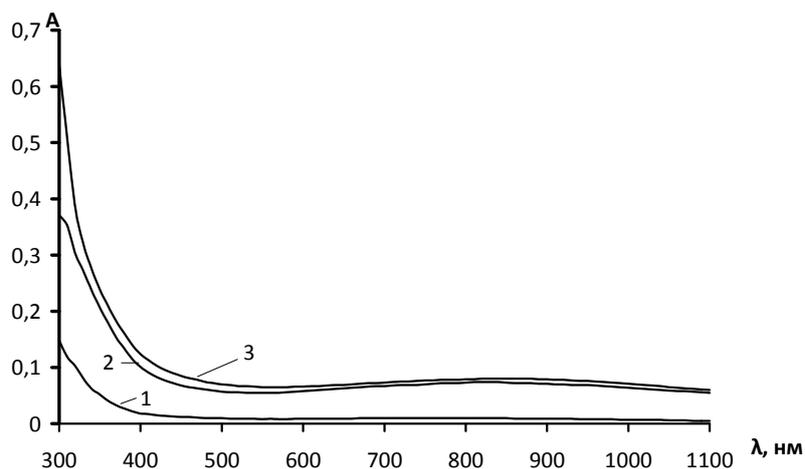


Рис. 3. Исходные спектры поглощения пленки  $\text{MoO}_3$  с разными толщинами: 1 – 7; 2 – 20; 3 – 25 нм

На рис. 4 приведены спектры поглощения триоксида молибдена ( $d=7$  нм) до и после термообработки при  $T=773\text{K}$ . Видно, что в процессе термической обработки оптическая плотность пленок  $\text{MoO}_3$  в интервале  $\lambda=300-550$  нм уменьшается (что приводит к смещению края полосы поглощения в коротковолновую область спектра) и возрастает в интервале  $\lambda=550-1100$  нм с  $\lambda_{\text{max}}=750$  нм. По мере увеличения толщины пленок  $\text{MoO}_3$  при термообработке наблюдается последовательное уменьшение эффектов изменения оптической плотности образцов во всем исследованном спектральном диапазоне. Предельные значения изменений оптической плотности при увеличении толщины пленок  $\text{MoO}_3$  возрастают.

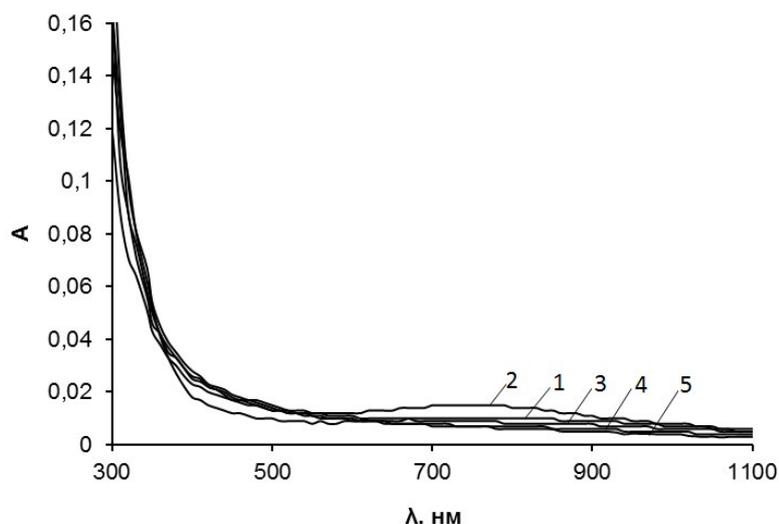


Рис. 4. Спектры поглощения  $\text{MoO}_3$  ( $d=7$  нм) до (1) и после термообработки при  $T=773\text{K}$  в течение: 2 – 33; 3 – 73; 4 – 113; 5 – 163 сек

Литература.

1. Суrowой Э.П., Бин С.В. Термические превращения в наноразмерных системах Pb - WO<sub>3</sub> // Журн. Физ. Химии. 2012. Т. 86. № 2. С. 337-343.
2. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э., Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. Физ. Химии. 2012. Т. 86. № 4. С. 702-709
3. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы индий – оксид индия (III) // Неорганические материалы. 2012. Т. 48. №. 7. С. 819-824.

### ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ОКИСЛЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК ВИСМУТА

<sup>1</sup>В.Э. Суrowая, ассистент, <sup>2</sup>Л.Н. Бугерко, к.х.н., доц., <sup>2</sup>Э.П. Суrowой, д.х.н., проф.,  
<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово,  
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3842)-39-69-56,  
<sup>2</sup>Кемеровский государственный университет, г. Кемерово,  
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842)-58-12-26  
E-mail: sur.vik@mail.ru

С уменьшением размеров (повышением компактности) объектов значительно уменьшается и продолжительность протекания технологических процессов в конкретной системе, то есть возрастает ее потенциальное быстродействие, что очень важно для электроники и вычислительной техники [1]. Кроме того уменьшение структурных единиц металла до наноразмерного (менее 100 нм) позволяет решить важную проблему материаловедения – получение металлов и сплавов с однородной микроструктурой и прогнозируемыми, на этой основе физико-химическими, механическими и эксплуатационными свойствами [2,3].

Наноразмерные висмутовые покрытия уже сейчас используются для производства полупроводниковых материалов для термоэлектрических приборов, полупроводниковых холодильников суперпроцессоров, самозаряжающихся гальванических и высокоэнергетических элементов, способных использоваться при высоких рабочих температурах [4 – 8].

Выяснение закономерностей термостимулированных превращений наноразмерных пленок висмута представляет интерес в связи с созданием новых функциональных материалов, стабильных в условиях коррозионного действия окружающей среды.

В работе представлены результаты исследований, влияния размерных эффектов на оптическую плотность и отражательную способность наноразмерных пленок висмута толщиной ( $d = 3 - 120$  нм), подвергнутых термической обработки в атмосферных условиях в интервале температур ( $T = 373 - 673$  К).

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких ( $3 - 120$  нм) слоев висмута на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М» [9 – 15]. Подложками служили стекла от фотопластинок (ГОСТ 9284 – 59), толщиной  $1 \cdot 10^{-3}$  м и площадью  $2 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей мыльной воде, промывали в дистиллированной воде и сушили [9 – 15]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне  $300 - 1100$  нм.

Толщину пленок висмута определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»), микроскопическим (интерференционный микроскоп «МИИ-4») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами [9 – 15]. Образцы подвергали термической обработке в сушильном шкафу «Memmert BE 300» и в муфельной печи «Тулячка-3П» в интервале температур  $373-673$  К. При этом образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в течение  $0,05-2500$  мин. в атмосферных условиях. Регистрацию эффектов до и после термической обработки исследуемых образцов осуществляли гравиметрическим, микроскопическим и спектрофотометрическим (в диапазоне длин волн  $190-1100$  нм, используя спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») методами.

Измерения фотоЭДС ( $U_{\phi}$ ) проводили на высоковакуумном экспериментальном комплексе [13]. В качестве источников излучения применяли ртутную (ДРТ-250) и ксеноновую (ДКсШ-1000) лампы. Для выделения требуемого участка спектра использовали монохроматоры МДР-2 и СПМ-2, светофильтры. Контактную разность потенциалов (КРП) между пленками висмута, оксида висмута (III)

и электродом сравнения из платины измеряли в интервале температур  $T = 373 - 673 \text{ K}$  и давлений ( $P = 1,3 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ ), используя модифицированный метод Кельвина [14].

В результате исследований оптических свойств наноразмерных пленок висмута было установлено, что спектры поглощения и отражения наноразмерных пленок висмута до термообработки существенно зависят от их толщины. Из рисунка 1 видно, что для образцов толщиной более 28 нм можно выделить характерные для висмута полосы поглощения (в частности – максимумы поглощения при  $\lambda \approx 410 \text{ нм}$  и  $735 \text{ нм}$ ) [16]. По мере уменьшения толщины пленок висмута на спектрах поглощения и отражения постепенно перестают проявляться характерные для висмута полосы поглощения и отражения. Для пленок висмута толщиной  $d < 28 \text{ нм}$  наблюдается бесструктурное поглощение и отражение в диапазоне  $\lambda = 190 \dots 1100 \text{ нм}$ .

Термическая обработка наноразмерных пленок висмута приводит к значительному изменению видов спектров оптического поглощения и зеркального отражения образцов. Наблюдаемые изменения не аддитивны в рассматриваемом спектральном диапазоне длин волн. Наряду с уменьшением в интервале  $\lambda = 330 \dots 1100 \text{ нм}$  и увеличением в диапазоне  $\lambda = 300 \dots 330 \text{ нм}$  значений оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества. Оцененная по длинноволновому порогу поглощения, который находится при  $\lambda \approx 387 \text{ нм}$ , оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества составляет  $E \approx 3,2 \text{ эВ}$ . Полученное значение ширины запрещенной зоны вещества удовлетворительно совпадает с шириной запрещенной зоны оксида висмута (III) [17]. Поэтому, было сделано предположение, что при термической обработке пленок висмута основным продуктом взаимодействия их с кислородом окружающей среды является оксид висмута (III).

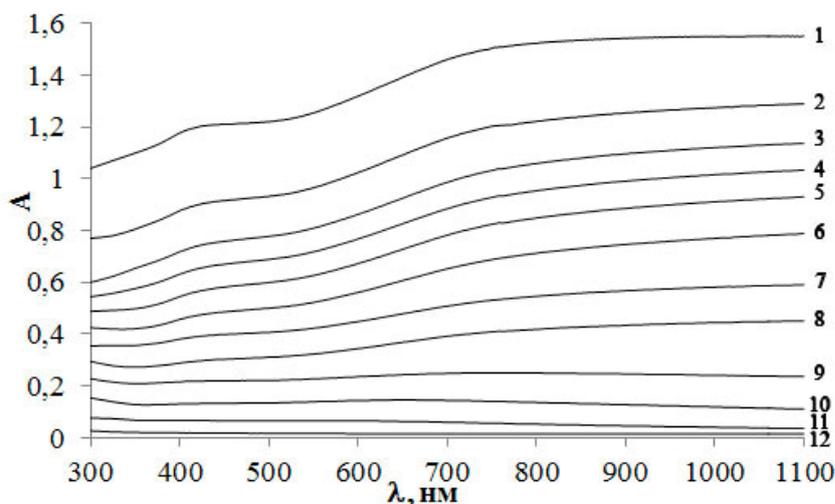


Рис. 1. Спектры поглощения пленок Bi толщиной: 1 – 120 нм, 2 – 92 нм, 3 – 77 нм, 4 – 68 нм, 5 – 63 нм, 6 – 51 нм, 7 – 39 нм, 8 – 27 нм, 9 – 17 нм, 10 – 13 нм, 11 – 9 нм, 12 – 3 нм

При одинаковой исходной толщине пленок висмута с увеличением температуры имеет место возрастание эффектов изменения оптической плотности. По мере увеличения толщины пленок висмута (вплоть до 120 нм) при постоянной температуре термической обработки (в интервале  $373 \dots 673 \text{ K}$ ), наблюдается последовательное уменьшение эффектов изменения оптической плотности образцов во всем исследованном спектральном диапазоне.

Используя результаты измерений спектров поглощения и отражения пленок висмута разной толщины до и в процессе термической обработки образцов при разных температурах, были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения ( $\alpha = f(\tau)$ ). Для построения кинетических кривых  $\alpha = f(\tau)$  был выбран диапазон длин волн  $\lambda = 400 \dots 900 \text{ нм}$ , в котором пленки висмута имеют значительное поглощение, а поглощением  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  можно пренебречь. Расчет степеней превращения осуществляли по формуле (1) и формуле (2), учитывая «истинное» (вызванное поглощением света в веществе) значение оптической плотности [9]:

$$A = (A_{\text{Bi}}^1 - A_{\text{обр.}}) / (A_{\text{Bi}}^1 - A_{\text{Bi}_2\text{O}_3}^1) \quad (1)$$

где  $A_{\text{Bi}}^1$ ,  $A_{\text{Bi}_2\text{O}_3}^1$  – предельные значения оптической плотности пленок висмута и оксида висмута (III) при  $\lambda = 800 \text{ нм}$ .

$$A_{\text{обр.}} = A + \lg(1 - R) \quad (2)$$

где  $A_{\text{обр}}$  – «истинное» значение оптической плотности;  $A$  – регистрируемое значение оптической плотности;  $R$  – коэффициент отражения.

Установлено, что с уменьшением толщины пленок висмута наблюдается увеличение степени термического превращения во всем исследованном интервале температур ( $T = 373 \dots 673$  К). По мере увеличения температуры термообработки при постоянной толщине пленок висмута степень термического превращения возрастает.

На рис. 2 и 3 представлены зависимость степени превращения от толщины пленок висмута при  $T = 573$  К и температурная зависимость степени превращения пленок висмута толщиной 25 нм, при разных временах окисления.

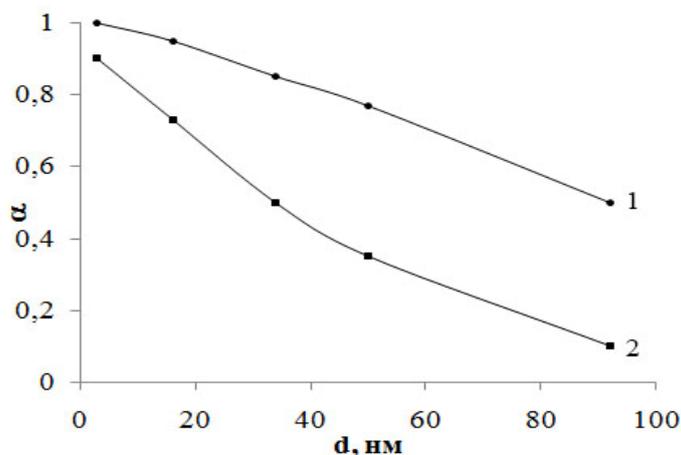


Рис. 2. Зависимость степени превращения от толщины пленок висмута при  $T = 573$  К: 1 – 5 мин, 2 – 1 мин

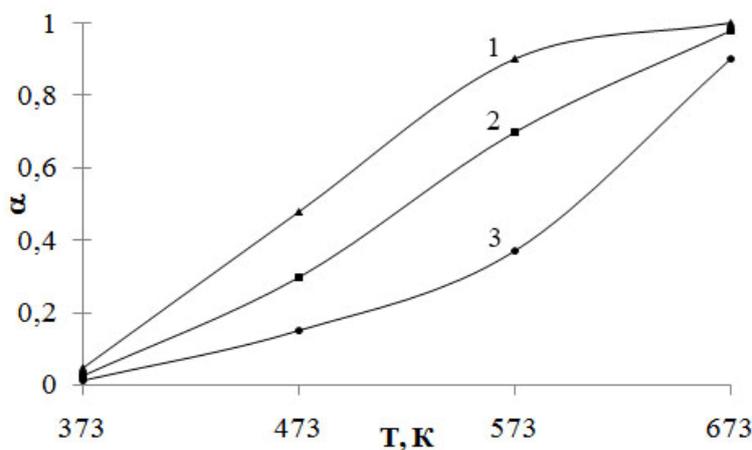


Рис. 3. Температурная зависимость степени превращения пленок висмута толщиной 25 нм: 1 – 6 мин, 2 – 3 мин, 3 – 1 мин

Видно, что для пленок висмута толщиной менее 15 нм уже через 1 минуту прогрева при  $T = 573$  К степень превращения достигает практически 90 %, а уже через 5 минут – пленки висмута толщиной до 50 нм.

Обнаруженная зависимость степени окисления пленок висмута от их толщины позволят получать при определенной толщине коррозионностойкие покрытия на металлическом висмуте.

Образующийся слой оксида висмута (III) на поверхности наноразмерной пленки висмута определяет его коррозионную устойчивость в агрессивной среде. Оксид висмута (III), образующийся непосредственно на тех участках металлического висмута, который вступает в реакцию, может тормозить

дальнейший процесс коррозии [18]. При таком механизме коррозии дальнейший рост поверхностной пленки будет зависеть от возможности проникновения через эту пленку коррозионных агентов.

Одним из основных условий, характеризующих способность образованного первичного слоя продуктов коррозии тормозить дальнейшее окисление металла, будет сплошность получаемой пленки, согласно которому объем образовавшегося оксида висмута должен быть больше израсходованного на окисление объема металлического висмута:  $V_{\text{МехOy}} > V_{\text{Me}}$  [19 – 23].

Отношение этих объемов называют фактором сплошности Пиллинга и Бедвортса. В том случае, когда  $(V_{\text{МехOy}} / V_{\text{Me}}) > 1$ , формирование и рост толщины пленки при окислении происходит в условиях сжатия, поэтому она является сплошной. Согласно критерию Пиллинга и Бедвортса, который для висмута составляет 1,23, следует ожидать образования сплошной оксидной пленки.

Для выяснения причин, вызывающих наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также зависимостей степени превращения пленок висмута в процессе термообработки были измерены  $U_{\text{Ф}}$  систем  $\text{Bi} - \text{Bi}_2\text{O}_3$  и КРП для пленок  $\text{Bi}$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . Из анализа результатов измерений КРП (табл. 1) было установлено, что в области контакта  $\text{Bi} - \text{Bi}_2\text{O}_3$  (из-за несоответствия между работами выхода из контактирующих партнеров) возникает запирающий электрический слой. Напряженность электрического поля на границе контакта  $\text{Bi} - \text{Bi}_2\text{O}_3$  (для пленок висмута различной толщины) составляет  $\sim 10^6$  В/см.

Таблица 1

Контактная разность потенциалов между пленками висмута, оксида висмута (III) и относительным электродом из платины

Образец	$V_{\text{КРП}}, \text{В}$		
	$P = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$	$P = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$	$P = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Па}^*$
<sup>1</sup> Bi	+0,8	+0,8	+0,21
<sup>2</sup> Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+0,31	+0,28	+0,22
<sup>3</sup> Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+0,28	+0,26	+0,21

Примечание к таблице 1: <sup>1</sup>пленки висмута толщиной ( $d=92$  нм), <sup>2</sup>образцы  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  получены путем нанесения суспензии оксида висмута на подложку платины, <sup>3</sup>образцы  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  получены путем нанесения пленок висмута ( $d=92$  нм) и их последующего полного окисления в атмосферных условиях при  $T = 673$  К; \*после предварительной тепловой обработки при  $T = 673$  К в течение 120 мин.

Значения КРП для образцов висмута и оксида висмута (III) практически не зависят от изменения давления в экспериментальной ячейке. Предварительный прогрев пленок висмута в вакууме при  $T = 673$  К приводит к значительному уменьшению значений КРП. Изменения значений КРП связаны с формированием оксида висмута (III).

На рис. 4 приведена диаграмма энергетических зон контакта  $\text{Bi} - \text{Bi}_2\text{O}_3$ , при построении которой использованы результаты измерений КРП,  $U_{\text{Ф}}$ , спектров поглощения и отражения пленок  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и  $\text{Bi}$ .

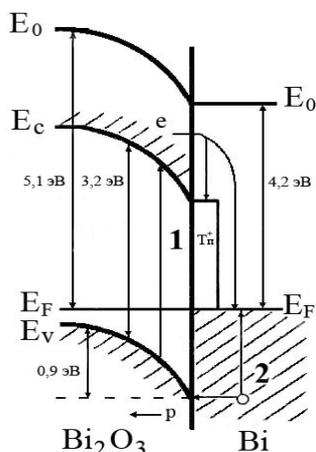


Рис. 4. Диаграмма энергетических зон системы  $\text{Bi}-\text{Bi}_2\text{O}_3$ .  $E_V$  – уровень потолка валентной зоны,  $E_C$  – уровень дна зоны проводимости,  $E_F$  – уровень Ферми,  $E_0$  – уровень вакуума,  $T_n^+$  – уровни поверхностных электронных состояний

Полярность  $U_{\phi}$  (рис. 4, переходы 1, 2) соответствует положительному знаку со стороны оксида висмута (III). Генерация  $U_{\phi}$  прямо свидетельствует о формировании в процессе термообработки пленок висмута гетеросистем  $Bi - Bi_2O_3$ , переходы носителей заряда, на границе раздела которых обеспечивают наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также зависимостей степени превращения (рис. 2, 3).

Литература.

1. Балобанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. – М.: Эксмо, 2009. – 256 с.
2. Рудской А.И. Нанотехнологии в металлургии. – СПб.: Наука, 2007. – 186 с.
3. Коршунов А.В. Размерные и структурные эффекты в процессах окисления металлов: монография. – Томск, 2013. – 360 с.
4. Юхин Ю. М., Михайлов Ю. И. Химия висмутовых соединений и материалов. — Новосибирск: Издательство СО РАН, 2001. — 360 с.
5. Денисов В.М., Белоусова Н.В., Моисеев Г.К. и др. Висмутсодержащие материалы: строение и физико-химические свойства. Екатеринбург: Уро РАН, 2000. 527 с.
6. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2009. 414 с.
7. Елисеев А. А., Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы. / Под ред. Ю.Д. Третьякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 456 с.
8. Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы. М.: БИНОМ. 2008. 365 с.
9. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н. Суровая В.Э. Кинетика фотостимулированных превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 9. С. 1565-1571.
10. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н. Суровая В.Э. Бин С.В. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках никеля // Журн. физ. химии. 2014. Т. 88. № 12. С. 1970-1976.
11. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н. Суровая В.Э. Кинетические закономерности взаимодействия наноразмерных пленок висмута с аммиаком // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 6. С. 1020-1026.
12. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н. Борисова Н.В. Суровая В.Э. Рамазанова Г.О. Закономерности фотостимулированных превращений в наноразмерных пленках  $MoO_3$  // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 12. С. 2105-2109.
13. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н. Термостимулированное газовыделение из систем азид серебра – металл // Химическая физика. 2002. Т. 21. № 7. С. 74 – 78.
14. Суровой Э.П., Титов И.В., Бугерко Л.Н. Исследование состояния поверхности азидов свинца, серебра и таллия в процессе фотолиза методом КРП / Материаловедение. 2005. № 7. С. 15 – 20.
15. Суровой Э.П., Борисова Н.В. Термопревращения в наноразмерных слоях  $MoO_3$  // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 11. С. 2120-2125.
16. Золотарев В.М., Морозов В.Н., Смирнова Е.В. Оптические постоянные природных и технических сред. Справочник. – Л.: Химия, 1984. – 216 с.
17. Бьюб Р. Фотопроводимость твердых тел. – М.: ИЛ, 1962. – 558 с.
18. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.С. Коррозия и защита от коррозии / Под ред. И.В. Семеновой. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
19. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 592 с.
20. Кофстад П. Отклонение от стехиометрии, диффузия и электропроводность в простых окислах металлов. – М.: Мир, 1975. – 399 с.
21. Барре П. Кинетика гетерогенных процессов. – М.: Мир, 1976. – 400 с.
22. Хауффе К. Реакции в твердых телах и на их поверхности. – М.: Иностран. лит-ра, 1962. – 415 с.
23. Кубашевский О., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1965. – 429 с.

#### **АНОДНОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ОКРАШИВАНИЕМ**

*В.В. Филипенко, ст. гр.10741, Л.Г. Деменкова, ст. преп.,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-62*

*E-mail: filipenko@tpi.ru*

Анодное оксидирование (анодирование, анодное окисление) – процесс создания оксидной плёнки на поверхности некоторых металлов и сплавов путём их анодной поляризации в проводящей среде. Плёнка защищает изделие от коррозии, обладает электроизоляционными свойствами, служит хорошим основанием для лакокрасочных покрытий, используется в декоративных целях. За счет образования анодного

оксида изменяются поверхностные свойства материала: твердость, электрическое сопротивление, термостойкость, износостойкость, каталитическая активность и др. Анодное оксидирование относится к анодным методам электрохимической обработки металлов. Технология анодирования широко используется для алюминия, титана, тантала, ниобия, кремния, германия, арсенида галлия. Применяют ее в самолёто-, ракето- и приборостроении, радиоэлектронике и др. Анодирование в водных растворах электролитов является наиболее распространенным и универсальным способом, легко поддающимся автоматизации. Площадь одновременно анодируемых в ванне изделий определяется только вместимостью ванны и мощностью источника тока и достигает 100 м<sup>2</sup> и более. В качестве электролитов применяют водные растворы кислот или щелочей. Основное назначение оксидов, полученных этим методом – защита металлических изделий от коррозии, декоративная отделка, упрочнение поверхности, применение в качестве диэлектрика конденсаторов, основы для фотографического слоя, полупроводниковых переходов, подслоя для лаков и красок и др.

Алюминий – этот важнейший представитель легких металлов, нашел себе исключительно широкое применение в самых разнообразных отраслях современной техники благодаря тому, что обладает такими свойствами, как малый удельный вес, высокая электропроводность, достаточная механическая прочность и большая коррозионная стойкость по отношению к ряду химических веществ. Разнообразное применение алюминий находит себе в пищевой промышленности (упаковка из фольги, консервные банки, укупорка бутылок и т. д.). Наконец, алюминий и его сплавы широко используются в быту (посуда, мебель и пр.) и для всякого рода художественных и декоративных целей. В заключение следует особо отметить значение алюминия как стратегического металла. Такие отрасли военной техники, как самолетостроение, авиастроение, судостроение, танкостроение, артиллерия, производство средств связи, а также взрывчатых веществ требуют применения алюминия и его сплавов.

Алюминий – активный металл. Судя по электродному потенциалу ( $E^{\circ}(Al^{3+}/Al) = -1,66$  В), алюминий должен легко растворяться в растворах кислот. Однако в некоторых средах, например, на воздухе алюминий покрывается прочной и плотной оксидной плёнкой  $Al_2O_3$  (или  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ ), которая в нейтральных и слабокислых средах предохраняет металл от коррозии. Если изделие должно работать в более агрессивных средах, то плёнку оксида приходится искусственно наращивать. Существует множество различных работ, касающихся структуры этой пленки, формируемой при низкой температуре с помощью воздуха, однако в большинстве случаев она признается аморфной. При более высоких температурах (более 450 °С) происходит формирование кристаллического  $Al_2O_3$ . Оксидные плёнки обычно обладают хорошим сцеплением с поверхностью. Они характеризуются толщиной и пористостью. От этих параметров зависит электропроводность металла, поскольку сам материал плёнок – диэлектрик [1]. Поры пленок можно наполнять пассиваторами, что повышает их устойчивость к коррозии, и красителями. Таким образом, иногда требуется получать плотные пленки, а иногда – рыхлые.

Для придания изделиям из алюминия высокой коррозионной стойкости, износостойкости, твердости, электроизоляционных свойств, декоративного вида их подвергают анодному оксидированию, искусственно наращивая толстый оксидный слой на поверхности. В последнее время интенсивное развитие получило декоративное анодирование, обеспечивающее высокую светостойкость во всей цветовой гамме. Известны и способы получения окрашенных плёнок непосредственно в процессе анодирования – цветное анодирование, обладающее тем преимуществом, что это одностадийный процесс – не требуется последующее окрашивание анодных плёнок. Однако известные процессы цветного анодирования обладают рядом недостатков, которые ограничивают их применение. Это в основном нестабильность электролитов анодирования, медленное окрашивание плёнок и однообразность получаемых цветов [5]. В связи с указанными недостатками ведется поиск новых электролитов и разработка новых процессов цветного анодирования. В частности для расширения гаммы получаемых цветов предлагается применять электролиты на основе ванадатов, молибдатов, вольфраматов и манганатов [3]. Однако отсутствие систематических исследований, разноречивость воззрений на механизм этих процессов затрудняет эффективное решение технологических задач. Таким образом, тема работы актуальна.

Электролиты для анодной электрохимической обработки (окисления) алюминия подразделяют на две группы.

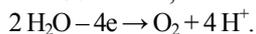
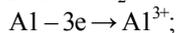
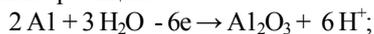
Электролиты, в которых оксид алюминия практически не растворяется, например растворы слабых неорганических или органических кислот (борной  $H_3BO_3$ , лимонной  $C_6H_8O_7$ ). Образующиеся в этих условиях пленки толщиной до 1 мкм почти не имеют пор и очень плохо проводят ток, что ог-

раничивает их рост [2]. В результате толщина пленки  $d$  оказывается пропорциональной напряжению на электролизере  $U$ :

$$d = b \cdot U, \text{ где } b = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ см/В} - \text{коэффициент пропорциональности.}$$

Электролиты, достаточно хорошо растворяющие оксид алюминия (растворы фосфорной кислоты  $H_3PO_4$ , серной кислоты  $H_2SO_4$ , щавелевой кислоты  $H_2C_2O_4$ ) [2]. В этом случае образуются пористые, проницаемые для раствора пленки, толщина которых в зависимости от условий электролиза составляет 1-500 мкм. Поры таких пленок можно заполнять как пассиваторами, так и красителями, причем делать это как в процессе электролиза, так и после.

При анодном оксидировании алюминия в электролитах второй группы на аноде протекают параллельно реакции:



С ростом концентрации кислоты и при повышении температуры скорость растворения оксида увеличивается. Это приводит к уменьшению толщины пленки, образующейся за определенное время электролиза, и к увеличению ее пористости. При этом влияние плотности тока на толщину пленки оказывается неоднозначным. С одной стороны, её увеличение приводит к увеличению скорости образования оксида. С другой стороны, при увеличении плотности тока зона роста пленки разогревается, что приводит к повышению скорости растворения оксида и уменьшению его толщины. В любом случае, при анодном оксидировании алюминия напряжение на электролизере должно быть значительно выше, чем во многих процессах электроосаждения металлов, чтобы преодолеть сопротивление пленки.

Для улучшения декоративных свойств пленки оксида алюминия можно окрашивать. «Цветной алюминий» в настоящее время становится серьезным конкурентом других металлов и пластмасс. В некоторых случаях анодирование с окрашиванием оказалось непригодным вследствие неудовлетворительной светостойкости большинства имеющихся в наличии красителей. Однако в целом цветное анодирование прочно утвердилось в промышленности и спрос на него продолжает постоянно расти. Вначале цветное анодирование применялось при производстве пепельниц, декоративной посуды из металла и декоративной облицовки стен внутри зданий. В качестве примеров крупномасштабного применения цветного анодирования можно привести металлическую отделку лифтов и опалубок колонн. Производство конструкций с применением методов, обеспечивающих получение самых разнообразных цветов поверхности, стало предметом внимания отраслей, занимающихся этикетированием и маркировкой, которые и в настоящее время предлагают этот вид услуг.

Помимо использования окрашивания в декоративных целях оно также применялось как средство, обеспечивающее идентификацию комплектующих деталей или различных сплавов. Так, заклепки и заклепочная проволока подвергались процессу анодирования и окрашивания с целью правильного выбора соответствующего сплава. Окрашивались и катушки в текстильной промышленности для идентификации нити. В 1939 г. в Германии был получен краситель желто-золотистого цвета на основе оксалата аммония-железа (III). После войны этот краситель стали использовать при оформлении многих уникальных зданий, он явился экономичным средством оформления витрин магазинов, вытеснив применение золотой фольги. Интегральная окраска в бронзовые тона появилась в 1959 г. Около 10 % анодированного алюминия, используемого в строительстве, применяется при окрашивании этим методом. Характерная для таких пленок твердость позволила улучшить эксплуатационные свойства некоторых видов продукции, например, дверных ручек, пластинок, защищающих дверную обивку от загрязнения пальцами, дощечек с фамилией на дверях, отделки витрин магазинов и входов в здания. С помощью различных окрашивающих электролитов можно получить самые разнообразные оттенки. Применение солей никеля, кобальта, олова обеспечивает широкую гамму оттенков – от светло-бронзового до черного, обладающих великолепной светостойкостью.

В данной работе было изучено влияние режима оксидирования (плотность тока, температура) на свойства оксидной пленки, а также получены окрашенные оксидные пленки.

Перед работой аноды (алюминиевая проволока размером  $0,15 \times 10$  см) необходимо тщательно зачистить с помощью наждачной бумаги и обезжирить с помощью 0,1 М раствора соды при  $70^\circ C$  в течение 30 мин. Задачей химического обезжиривания является удаление с поверхности деталей жиров органического и минерального происхождения. Органические жиры остаются на детали после применения полировальных паст с олеином, стеарином или от соприкосновения с руками человека. Минеральные масла остаются от консервирующих смазочных материалов или попадают на металл в

процессе механической обработки. В процессе химического обезжиривания удаляются также мелкие твердые загрязнения, удерживаемые на поверхности жировой пленкой. Далее рассчитывают длину электрода, которую следует погрузить в электролит для достижения плотности тока  $100 \text{ A/m}^2$  при силе тока 20 мА. Далее проводят электрохимическое оксидирование. Схема двухэлектродная, режим работы – гальваностатический, плотность тока  $100 \text{ A/m}^2$ , время опыта 30 мин [4]. Разъёмы потенциостата замыкают в соответствии с двухэлектродной схемой. В стакан на 50 мл наливают электролит в соответствии с табл.1. В него помещают подготовленный алюминиевый анод, который закрепляют в штативе. В том же штативе закрепляют угольный электрод – катод. Электроды подключают к потенциостату. Алюминиевый электрод подсоединяют к разъему «Work», графитовый - к разъему «Counter».

Электролиты для оксидирования готовят в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Составы электролитов и условия анодного оксидирования [4]

№ раствора	Компоненты	Концентрация, г/л	$t, ^\circ\text{C}$	$J, \text{A/m}^2$
1	$\text{H}_2\text{SO}_4$	180	25	100
2	$\text{H}_2\text{SO}_4$	180	100	100
3	$\text{H}_2\text{SO}_4$	180	25	500
4	$\text{H}_2\text{SO}_4$	180	100	500

После оксидирования электрод высушивают и проводят окрашивание полученного покрытия. Растворы для окрашивания оксидной плёнки готовят в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Составы растворов для окрашивания оксидных пленок алюминия и окраска пленки [4]

№ раствора	Компонент	Концентрация, г/л	$t, ^\circ\text{C}$
Синяя окраска			
1а	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	15	25
1б	$\text{FeCl}_2$	50	25

Для окрашивания оксидной пленки по реакции двойного обмена оксидированный алюминий погружали сначала в стакан с раствором для окрашивания 1а на 15-20 мин, затем после промывки холодной водой в раствор 1б. После выдержки в растворе в течение 5-30 мин образцы снова промывали холодной водой и высушивали на воздухе [4].

Установлено, что оптимальными условиями оксидирования обеспечиваются применением раствора № 2 (таблица 1), при использовании которого получают наиболее легко окрашиваемые плёнки. Результаты работы могут быть использованы при разработке методов и технологий получения окрашенных анодных оксидных пленок на алюминии и его сплавах.

Литература.

1. Акимов А.М. Свойства и назначение алюминия [Электронный ресурс]. – <http://for-engineer.info/metalurg/aluminum/svoystva-i-naznachenie-alyuminiya.html>
2. Галеев И.Т. Оксидная плёнка алюминия [Электронный ресурс]. – <http://vseokraskah.net/alyuminij/oksidnaya-plenka-alyuminiya.html>
3. Кусков В.Н., Коленчин Н.Ф., Шадрин П.Н., Сафронов А.В. Строение и свойства анодной оксидной плёнки на алюминии и сплаве Д16 // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11–3. – С. 625-629; URL: [www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=9999801](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=9999801) (дата обращения: 27.02.2015).
4. Лебедева, О.К., Культин, Д.Ю., Жилин, Д.М. Электрохимия [Текст]: Руководство для студентов. – М.: Научные развлечения, 2014. – 44 с.
5. Халипина Н. Н. Кинетические закономерности электрохимического окрашивания анодных оксидных пленок на алюминии и его сплавах [Электронный ресурс]: авт. дисс. к. т. н. – <http://www.disserr.com/contents/146736.html>.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ

Т.А. Чакилева, студентка 4 курса химического факультета КемГУ,  
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово,  
650043, г. Кемерово ул. Красная 6, тел. (+7)-951-183-24-94  
E-mail: TATYANA.CHAKILEVA@MAIL.RU

При облучении твердого тела ионизирующим излучением в материале создаются свободные электроны и дырки. Часть из них рекомбинирует во время облучения. Наиболее вероятным каналом рекомбинации является рекомбинация на точечных дефектах, осуществляющаяся путем последовательного захвата электрона и дырки (или дырки и электрона) на одном дефекте, который в этом случае называют центром рекомбинации. Если рекомбинация сопровождается излучением фотона, то соответствующий центр рекомбинации является центром люминесценции. Спектральный состав свечения при этом определяется природой центра люминесценции [1].

Часть электронов и дырок может быть захвачена на дефектах порознь, т.е. на одном типе дефектов локализуются электроны, а на другом - дырки. Соответствующие дефекты называются центрами захвата или ловушками. Если в материале присутствуют глубокие ловушки, то это приводит к тому, что после прекращения облучения может наблюдаться послесвечение, длительность которого определяется, в основном, временем жизни электронов (дырок) на ловушках и зависит от их глубины и температуры образца. Повышение температуры приводит к опустошению ловушек и при этом может наблюдаться термостимулированная люминесценция (ТСЛ), которая возникает при нагреве предварительно облученного образца [1].

Практически все материалы обладают определенной чувствительностью к облучению, однако чувствительность материалов с наиболее высоким выходом ТСЛ (люминофоров) на порядки выше. Из этих материалов изготавливаются детекторы ионизирующего излучения (ИИ), которые широко применяются в дозиметрическом контроле. Одной из главных характеристик детекторов, применяемых в дозиметрии ИИ, является чувствительность к ионизирующему излучению [1, 2].

В работе проведено исследование ТСЛ широко распространенных в индивидуальном дозиметрическом контроле термолюминесцентных (ТЛ) детекторов на основе LiF, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> с целью сравнения их ТЛ характеристик при накопления дозы за счет фонового облучения в течении 63 дней (доза ~0,6 мГр) с ТСЛ, облученных дозой 1 Гр строительных материалов, используемых для облицовки зданий. Целью явилось определение возможности ретроспективной оценки дозы облучения по ТЛ облицовочных строительных материалов. ТСЛ строительных материалов может определяться содержанием кварцев, полевых шпатов, слюд, апатитов, цирконов, кальцитов и доломитов [3].

На рис. 1 приводится усредненная по 5 параллельным измерениям ТСЛ детектора ТЛД-К и относительное отклонение в максимуме ТСЛ в долях, доза 0,6 мГр.

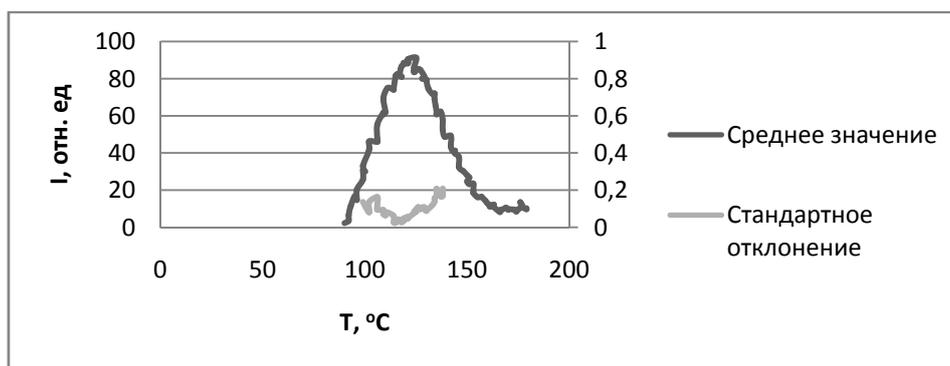


Рис. 1. Термолюминесцентная кривая детектора ТЛД-К

На рис. 2 приведена усредненная по 5 параллельным измерениям ТСЛ детектора LiF и относительное отклонение в максимуме ТСЛ в долях.

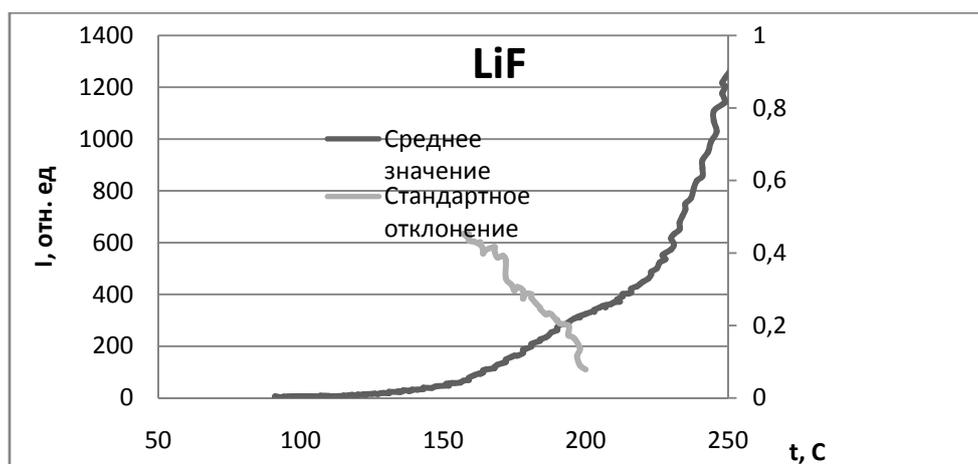


Рис. 2. Термолюминесцентная кривая детектора LiF

Из сравнения рисунков видно, что, несмотря на больший по сравнению с ТЛД-К сигнал, разрешение пика у детектора на основе LiF хуже и среднее отклонение выше. Эти детекторы можно использовать только при квартальном контроле.

В отдельных работах предпринимались попытки ретроспективной оценки доз по ТСЛ: керамика, кирпич (Хиросима и Нагасаки), фарфоровые изоляторы (Тримэйл-Айленд) [4].

В данной работе мы попытались найти широко распространенный строительный материал, перспективный для использования в качестве ТЛ свидетеля фонового облучения. Необходимым условием применения такого подхода является чувствительность к излучению у материала, обеспечивающая регистрацию доз порядка 1 Гр и температурная обработка материала свидетеля в технологической цепочке его изготовления (0 момент-отжиг материала перед эксплуатацией). Для строительных материалов это условие могло бы осуществляться, например, при перевозке бетона в подогретом состоянии.

Образцы для исследования отбирались методом случайного поиска в 4 разных районах г. Кемерово.

Отобранные куски облицовки массой 10 г измельчались в агатовой ступке. Проводилось измерение пробы массой ~20 мг, полученной в результате измельчения до размера <0,4 мм. Таким образом, определялась ТСЛ накопленная к моменту времени измерения, начиная с момента прохождения материалом технологического отжига, обусловленная воздействием на образец природного радиационного фона (фоновая доза). Далее проводилось изодозное (в одних и тех же условиях, одинаковое время) облучение всех навесок рентгеновским излучением 200 кэВ дозой ~1 Гр. Доза определялась с помощью детекторов ТЛД-К. После выдержки их в течение суток после облучения, для спада послесвечения, обусловленного наличием мелких ловушек, проводилось измерение облученных навесок.

На рис. 3 приведены кривые фоновой ТСЛ необлученных образцов. Она формируется за счет облучения материала фоновой радиацией, начиная с момента последнего отжига материала. Если в технологической цепочке отжиг не производился, то накопление дозы в минералах происходит с момента их формирования [5].

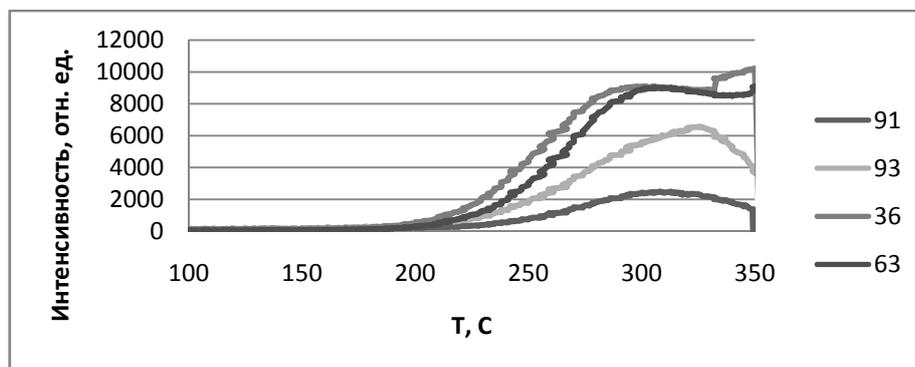


Рис. 3. ТЛ кривые для необлученных образцов

Все 4 образца обладают хорошо регистрируемым сигналом термолюминесценции с высокотемпературным пиком при 300 С. Исходя из анализа ТСЛ, можно предположить, что высокотемпературного прогрева материала не было, т.к. аналогичные по интенсивности сигналы наблюдаются для четвертичных отложений [5]. На рис. 4 приведена ТСЛ образца четвертичных отложений.

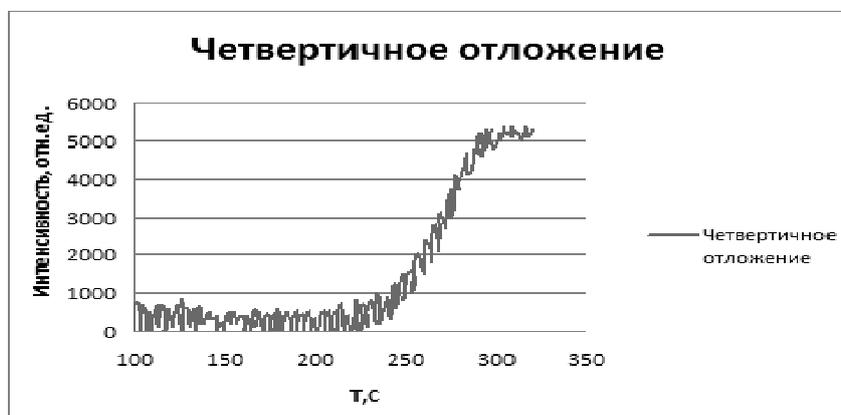


Рис. 4. ТЛ кривая для четвертичных отложений

Существенного изменения сигнала ТСЛ после облучения дозой 0,5 Гр не зафиксировано. На рис. 5. приведены термолюминесцентные кривые облученных образцов. При облучении в пробы закладывались детекторы ТЛД-К для определения дозы облучения.

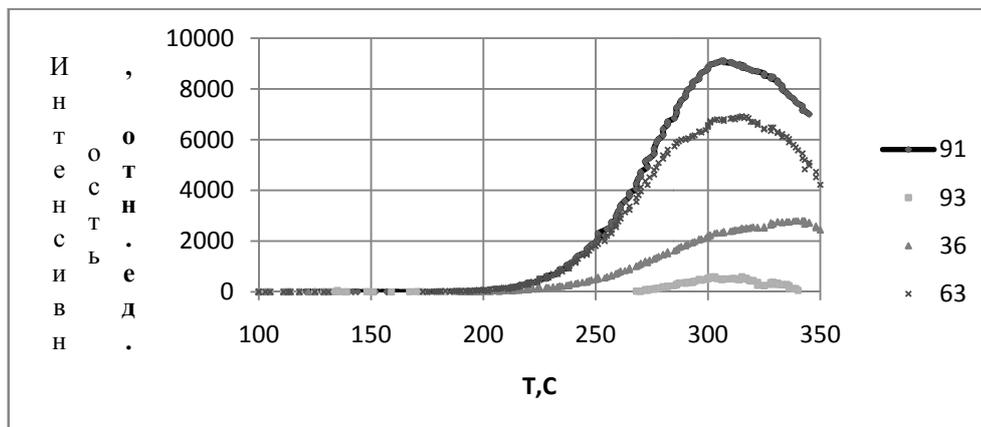


Рис. 5. ТЛ кривая облученных образцов

В общем случае, светосумма запасенной «хорошим свидетелем» ТЛ складывается из двух составляющих, обусловленных естественным фоном и облучением во время возможного ядерного события (Чернобыль, Фукусима или др). Поэтому для дозы, определенной по ТЛ свидетелю  $D_{\Sigma}$  можно записать

$$D_{\Sigma} = D_c + D_{\phi} \quad (1)$$

где  $D_{\phi}$  - доза, обусловленная воздействием радиационного фона (фоновая доза),  $D_c$  - доза, обусловленная ядерным событием.

Годовая доза от природного фона, измеренная детекторами ТЛД-К составляет ~3,3 мГр/год. Приняв в качестве возраста ТЛ свидетеля ~30 лет (реальные даты строек), получим  $D_{\phi} \sim 0,1$  Гр. Если сигнал необлученных образцов был бы обусловлен только фоновым облучением с нулевого момента в течении 30 лет, то после облучения мы должны были бы получить в 5 раз больший сигнал. Однако, облучение не привело к увеличению интенсивности. Следовательно, данные облицовочные материалы не пригодны для ретроспективного определения дозы из-за их низкой чувствительности к облучению и отсутствия отжига перед эксплуатацией.

Литература.

1. Антонов - Романовский В. В. Кинетика фотолюминесценции кристаллофосфоров. - М.: Наука, 1966. – 324 с.
2. N. Aluker, V. Aluker Detectors for thermoluminescens dosimetry based on SiO<sub>2</sub> // 10<sup>th</sup> International Conference on Solid State Dosimetry. Ashford, Kent: Nuklear Technology Publishing PO. – 1992. - №7. - p. 39 – 40.
3. Целлер Э. Термолюминесценция карбонатных отложений // Ядерная геология. – М.: Издательство Иностранной Литературы, 1956. – С. 238-247
4. Алукер Н.Л., М.Э. Херрманн, Э.Д. Алукер Анализ возможностей использования термостимулированной люминесценции технического стекла для ретроспективной оценки дозы при ядерном событии Известия Международной Академии наук высшей школы, 2004, № 2 (28), С. 125-132.
5. Алукер Н. Л., Суздальцева Я. М., Чернов А. Н. Оценка предельных временных возможностей датирования четвертичных отложений термолюминесцентным методом / Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. - № 4 (20). – С. 29-35.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ МАРГАНЦА, ЦИНКА, КАДМИЯ И МЕДИ  
В СИСТЕМЕ «СНЕГ- ПОЧВА»**

*В.Ф. Торосян, к.пед.н., доцент, Е.С. Торосян, ст. пр.,  
А.Р. Губанова, ст. гр.17Г41, В.К. Антюфеев, ст.гр.17Г41,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: torosjaneno@mail.ru*

Особенности городской среды зачастую не позволяют обеспечить равномерность отбора проб. Используемый в большинстве работ координатно-сеточный метод пробоотбора приходится дополнять определенными условиями, так как отобрать пробу в намеченной точке бывает не всегда возможно. В случае необходимости смещения точки предпочтение отдается "территории со сформированным почвенным профилем" [1].

Для оценки степени накопления загрязняющих веществ используется местный фоновый уровень, так как использование "абсолютного" среднеарифметического критерия (Водяницкий и др., 1995 г.) в большинстве случаев не отражает реальную ситуацию. Объективнее использовать фон, определенный непосредственно для данной зоны (Авессаломова, 1991 г.). Фоновый уровень может быть определен в естественных условиях по рекомендациям ряда авторов, при расстоянии от источников загрязнения не менее 50-80 км [2, 3, 4, 5].

Функционирование системы «снег - почва» для экологической оценки техногенного воздействия на ОС металлургического предприятия ООО «Юрмаш» предполагало выполнение анализов почвенного покрова в октябре 2008 г. (на третьей и четвертой неделях), в апреле 2009 г. (на третьей и четвертой неделях); в октябре 2009 г, апрель 2010 г. Пробы почвы были взяты в местах, обозначенных вешками с глубины около 20 см (штык лопаты) весом примерно 0,5 кг. Почвенные образцы упаковывали в полиэтиленовые пакеты, приклеивали этикетки и доставляли в лабораторию. И в этот же день анализировали. Для этого применяли те же методы анализа, что и для снега [6, 7].

Известно, что такие свойства почвы, как химический и гранулометрический состав, сорбционная емкость почвенно-поглощающего комплекса, буферность, рН значительно влияют на аккумуляцию и миграцию токсичных элементов. Поэтому нам было необходимо выбрать фоновый (чистый) участок, с которым можно было провести сравнение полученных результатов исследования почвы. Таким фоном была территория парка Пушкина.

В пробах снега, отбор которых проводился в 2010 г., в 2011г, в 2012г., 2014г. во вторую и третью недели марта, были определены содержания таких тяжелых металлов как Mn, Zn, Cd, Pb, Cu.

рН определялся ионометрическим методом (прямая потенциометрия), где индикаторным электродом служит ионоселективный электрод. Тонкий стеклянный шарик, заполненный раствором HCl внутри помещен хлорсеребряный электрод. Реакция на стеклянном электроде – это обмен ионами водорода между раствором и стеклом. Область применения – рН 1-10.

Для исследования содержания Mn применялся фотоколориметрический метод анализа.

Для выявления содержания Zn, Cd, Pb, и Cu мы использовали вольтамперометрический метод анализа.

Вольтамперометрия – это электрохимический метод анализа, основанный на расшифровке вольтамперограмм, полученных в электрохимической ячейке. Вольтамперограмма показывает зависимость тока от напряжения, приложенного к электродам электрохимической ячейки.

Электрохимическая ячейка в свою очередь состоит из рабочего электрода (концентрирование), электрода сравнения (измерение потенциала рабочего электрода) и вспомогательного электрода (подача потенциала). Этот метод был выполнен на приборе ТА-4 с программированным комплексом VaLab.

Керны снега отбирались с помощью цилиндра из всей толщины снежного покрова, без тонкого (2-3 см) приземного слоя, чтобы исключить попадание в пробу частиц почвы. На всей площади поля отбирались 3 пробы, удаленных друг от друга на 10 метров. Это делалось для того, чтобы получить усредненный результат по участку. Точки забора снега были обозначены вешками. Керны снега складывались в полиэтиленовые пакеты и транспортировались в лабораторию.

Таблица 1

Сводная таблица содержания ТМ

Элементы, рН	Объект : Поле промышленной зоны металлургического производства				
	Снег		Почва		
	Вода	Тв. фаза	Фон(парк)	Осень	Весна
рН	7,2	-	7,2	7,4	7,1
Цинк	0,7520	8,9100	34,723	42,563	51,121
Кадмий	0,0006	0,0120	0,0000	0,3563	0,4499
Свинец	0,0092	0,6210	4,1410	11,5835	16,994
Медь	0,0431	0,0000	4,8580	1,7851	2,3985
Марганец	1,2012	15,3112	69,5430	162,5640	251,6550

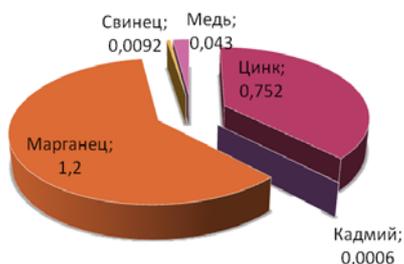


Рис. 1. Средние содержания тяжёлы металлов (ТМ) в снеговой воде (мг/дм)

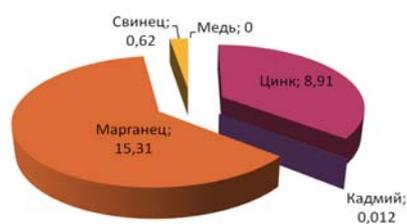


Рис. 2. Средние содержания тяжёлых металлов (ТМ) в твёрдой составляющей снега (мг/кг)

Снежный покров – это депонирующая (накапливающая) среда, при исследовании которой проводится двухфазный анализ - т.е. определяется концентрация микроэлементов в твердой и в жидкой составляющих снега. Поэтому мы выполняли раздельный анализ снеговой воды и твердого осадка.

Оказалось, что среднее содержание тяжелых металлов в снеговой воде и в твердой составляющей превышает нормы приблизительно в 10 раз. Используя программу «Статистика» мы подсчитали коэффициент корреляции, сравнили содержание этих элементов в снеговой воде, в твердом осадке и почве. Коэффициент корреляции имел наибольшее значение у свинца, затем у кадмия, цинка и марганца.

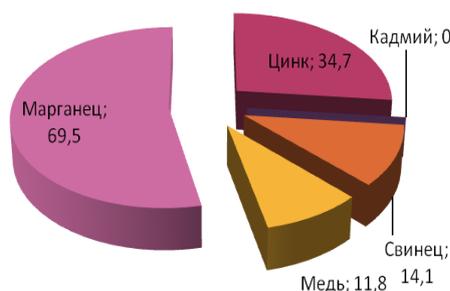


Рис. 3. Средние содержания ТМ в почве (фон- парк Пушкина), (рН=7.2), мг/кг

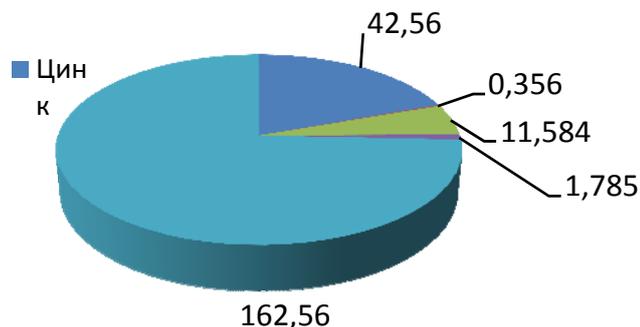


Рис. 4. Средние содержания ТМ в почве осень (pH=7.4), мг/кг

**Выводы:**

1. Снег и почва в промышленной зоне загрязнены тяжелыми металлами.
2. В пробах снега и почвы обнаружены ионы цинка, кадмия, свинца, меди, и марганца.
3. Ионы цинка, кадмия, свинца, меди, и марганца способны мигрировать в системе «СНЕГ-ПОЧВА».
4. Аккумуляция элементов в почве возрастает в ряду свинец-кадмий-цинк-марганец.
5. Результаты данных исследований могут служить основой для мониторинга окружающей среды города Юрги.

**Литература.**

1. Авессаломова И.А. Анализ природной ландшафтно-геохимической ситуации при изучении городов/ И.А. Авессаломова // Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны. М.: ИМГРЭ, 1991. С.4-11.
2. Агаркова М. Г., Целищева Л. К., Строганова М. Н.. Морфологогенетические особенности городских почв и их систематика. // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение, № 2, 1991. С. 11-16.
3. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия / В.А. Алексеенко. М.: Логос, 2000. 627 с.
4. Байковский В.В. Тяжелые металлы в городских системах Западной Сибири./ В.В. Байковский, А.П. Бояркина, Н.В. Васильев, Е.В. Иванова, Л.А. Изерская и др. // Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны. М.: ИМГРЭ, 1991. С.12-15.
5. Баканина Ф.М. Техногенные изменения почвенного покрова городских территорий./ Ф.М. Баканина // Антропогенные изменения и охрана природной среды. Новгород: ЭГПИ им. М. Горького, 1990. С. 61-65.
6. Балашова С.П. Тяжелые металлы в почвах урбанизированных территорий./ С.П. Балашова, А.Е. Самонов, В.М. Еремин, Э.А. Молоствовский, В.А. Кононов и др. // Экология и промышленность России. 2001. № 3. С. 40-43.
7. Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: Справочник. Л.: Химия, 1985 –528с.
8. Билалов Ф.С. Оценка уровня содержания тяжелых металлов в важнейших компонентах экосистемы г. Казани и сопредельных территорий для целей мониторинга/ Ф.С. Билалов, А.В. Александров, Ю.С. Котов, И.И. Костюкевич // Эколого-токсикологическая оценка урбанизированных и сопредельных территорий. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. С. 41-51.
9. Большаков В.А. Аэротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: Источники, масштабы, рекультивация/ В.А. Большаков, Н.М. Краснова, Т.И. Борисочкина, С.С. Сорокин, В.Г. Граковский. М.: Почв. Ин-т им. В.В Докучаева, 1993. 92 с.
10. Важенин И.Г. Унификация методики взятия почвенных образцов в зоне воздействия техногенных выбросов через атмосферу/ И.Г. Важенин, Е.И. Лучина // Химия в сельском хозяйстве. 1982. Т20. № 4. С. 41-43.
11. Воробьева И.Б. Техногенные загрязнения снега и почв/ И.Б. Воробьева, И.С. Ломоносов, А.В. Гапон, А.Б. Арсентьева // Геохимическая характеристика городов Сибири. Иркутск, Инст. Геогр. СО АН СССР, 1990. С. 15-27.

12. Гармаш Г.А. Распределение тяжелых металлов в почве в зоне воздействия металлургических предприятий/ Г.А. Гармаш // Почвоведение. 1986. № 2. С. 27-32.
13. Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях/ В.Б. Ильин, А.И. Сысо. Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
14. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в почвах Западной Сибири/ В.Б. Ильин // Почвоведение. 1987. № 11. С. 87-94.
15. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение/ В.Б. Ильин. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1991. 151 с.
16. Камерилова Г.С. Экология города: Урбоэкология. М., 1997. 131с. Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами / Сост.: В.А. Большаков, Ю. Н. Водяницкий, Т.И. Борисочкина, З.Н. Кахнович, В.В. Мясников. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1999. 31 с.

### **ХИМИЧЕСКИЕ ПОРАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ В ЦЕХЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КАМЕННОЙ ВАТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ «ЗАВОД ТЕХНОНИКОЛЬ – СИБИРЬ**

*В.Ф. Торосян, к.пед.н., Д.Н. Диятов, ст. гр.17Г20,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: torosjaneno@mail.ru*

Бурный научно-технический прогресс, начавшийся во второй половине XX в и продолжающийся до сих пор, не только способствует повышению производительности и улучшению условий труда, росту материального благосостояния и интеллектуального потенциала общества, но и приводит к возрастанию риска аварий больших технических систем [1].

Россия была и останется страной, в которой потенциальная опасность природных бедствий и техногенных катастроф чрезвычайно высока. Это обусловлено огромными размерами её территории, наличием различных климатических зон, неравномерностью технологических уровней производственных процессов на предприятиях промышленности, транспорта, топливно-энергетического комплекса [2]. Техногенные опасности усугубляются факторами нестабильности и кризисности экономики. Ежегодно в России происходит от 800 до 1500 достаточно крупных чрезвычайных ситуаций, из них более 80 % – техногенного характера. При этом из года в год складывается неутешительная картина динамики их роста и тяжести негативных последствий.

Важно отметить, что в последние годы в мире наблюдается устойчивая тенденция значительного роста числа техногенных чрезвычайных ситуаций. В настоящее время они составляют примерно 75–80 % от общего количества чрезвычайных ситуаций. Пожары, взрывы, транспортные аварии и катастрофы, выбросы в окружающую природную среду отравляющих веществ стали неотъемлемой частью жизни современного человека [3].

Цель работы: выявление химических поражающих факторов в цехе по производству каменной ваты на предприятии ООО «Завод ТехноНИКОЛЬ-Сибирь».

Для достижения цели поставлены задачи:

- провести анализ теоретических аспектов проблемы проявления химических поражающих факторов при возникновении чрезвычайных ситуаций на производственном предприятии в современной литературе;
- идентифицировать опасность элементов и технических устройств технологических процессов производства каменной ваты;
- произвести оценку риска возникновения чрезвычайной ситуации в цехе каменной ваты;
- выявить степень воздействия химических поражающих факторов.

Таблица 1

Характеристика наиболее опасных факторов в цехе каменной ваты

Наименование	Характеристика производства по взрывопожарной опасности	Выделяющиеся вредности
Склад сырья и кокса для вагранок	Хранение сырья и трудно сгораемого кокса в холодном состоянии	Пыль сырья и кокса при перегрузке
Отделение при плавлении сырья в ваннных печах	Дробление, помол в холодном состоянии и сушка, топливо, газ и дымовые газы	Пыль сырья, тепло от сушильных барабанов
Отделение приготовления связующего	Разбавление водой, негорючих фенолоспиртов, невзрывоопасных, но токсичных, с добавлением аммиачной воды. Объем взрывоопасной смеси в аварийном состоянии не превышает 5%	Незначительное выделение фенола, формальдегида, аммиака, битума.
Отделение плавки и волоконнообразования	Сжигание природного газа или мазута	Продукты сгорания газа или мазута, пыль сырья, тепловыделения $5 \cdot 10^6$ кДж/ч, лучистое и конвекционное тепло
Плавление сырья в вагранках	Сжигание кокса, подогрев воздуха для дутья за счет сжигания природного газа или мазута	Продукты сгорания газа, мазута, кокса, пыль сырья, тепловыделения $5 \cdot 10^6$ кДж/ч, лучистое и конвекционное тепло
Сварочное и кузнечно-термическое отделение	Горячая обработка материалов	Тепловыделения
Склад горючих и смазочных материалов	Хранение масел, обеспыливающих и смазочных, битума в мешках	

Результаты анализа позволили выделить поражающие токсичные газы в цехе КВ, которыми являются пары фенола формальдегида, а при задымлении в зоне печи возможно образование угарного газа. Из данных измерений приводимых службой контроля, известно, что содержание фенола и формальдегида в рабочих зонах превышает норму примерно в 6 и 4 раза. Содержание угарного газа не превышает его ПДК.

Таблица 2

Характеристика веществ, контролируемых АВУС-СКЗ

Контролируемое вещество		Диапазон измерения
Аммиак	$NH_3$	0...300 мг/м <sup>3</sup>
Водород	$H_2$	0...3,7(2) % об.
Диоксид азота	$NO_2$	0...30 мг/м <sup>3</sup>
Диоксид серы	$SO_2$	0...300 мг/м <sup>3</sup>
Диоксид углерода	$CO_2$	0...5 % об.
		0...99 % об.
Кислород	$O_2$	0...30 % об.
		0...99 % об.
Метан	$CH_4$	0...3,7(2)% об.
Пары углеводородов	$CxHy$	0...2 % об.
Пропан	$C_3H_8$	0...2 % об.
Сероводород	$H_2S$	0...30 мг/м <sup>3</sup>
Угарный газ	$CO$	0...300 мг/м <sup>3</sup>
Формальдегид	$H_2CO$	0...8 мг/м <sup>3</sup>
Хлор	$Cl_2$	0...30 мг/м <sup>3</sup>
Хлористый водород	$HCl$	0...30 мг/м <sup>3</sup>
Этанол	$C_2H_5OH$	0...3,7 (2) % об.
Метанол		0...30 мг/м <sup>3</sup>

По статистике при пожаре самым страшным является не открытый огонь или высокие температуры, а угарный газ, отравление которым очень опасно и в 90 % случаев влечет за собой летальный исход [4]. Кроме того, продукты горения не только являются причиной удушья, но и значительно снижают видимость, что ведет к возникновению дезориентации и паники. Ну а жар оказывает пагубное влияние на строительные конструкции. Если система дымоудаления работает исправно, она в значительной степени сможет облегчить не только эвакуацию, но и благодаря проветриванию сохранит относительно невысокие термические показатели. Так, при пожаре в закрытых помещениях температура подчас поднимается до 1000 °С, а при налаженной работе системы дымоудаления она останется сравнительно низкой – в районе 400 °С. Такой градус по нормативам должны выдерживать конструкции как жилых, так и офисных строений, так что угрозы обрушения возникнуть не должно. Вот почему при воспламенении крайне важно обеспечить приток свежего воздуха, который даст возможность находящимся в помещении людям покинуть опасную зону [5, 6].

В результате, можно выделить следующие варианты возможных аварийных ситуаций, обуславливающих задымление в зоне печи вагранки:

- недостаточное количество подведенного воздуха необходимого для сжигания углесодержащего топлива;
- технический сбой в работе насоса по вытяжки дыма из вагранки.
- несрабатывание задвижки в дымоходе вагранки.

Для обеспечения безопасности работ, проводимых в цехе по производству каменной ваты и снижения степени воздействия поражающих химических факторов на работающих необходимо установить АВУС-СКЗ.

АВУС-СКЗ – многофункциональный промышленный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для отображения информации от датчиков сигнализаторов параметров окружающей среды, оповещения персонала о превышении контролируемые параметрами заданных пороговых значений, автоматического включения и выключения исполнительных устройств по заданным программам.

Технические характеристики системы контроля загазованности АВУС-СКЗ позволяют использовать ее на протяженных и рассредоточенных объектах химической, металлургической, фармацевтической и пищевой промышленности, топливно-энергетического комплекса, коммунального и транспортного хозяйства:

- не допускать неконтролируемого нарастания концентраций горючих и токсичных газов в рабочей среде, возникновения аварийных режимов работы технологических агрегатов;
- осуществлять блокировку источников газовой выделению в случае возникновения аварийных ситуаций;
- осуществлять световую и звуковую сигнализацию аварийных режимов по месту установки оборудования и в центральном диспетчерском пункте;
- отслеживать концентрацию газов в контролируемых помещениях;
- следить за состоянием уровня загазованности в местах наиболее вероятного возникновения утечек.

Литература

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов [Электронный ресурс] / Консультант Плюс: Законодательство; Версия Проф. – URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=149817>. Дата обращения: 10.05.2014.
2. Акимов, В.А. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера: учебное пособие / В.А. Акимов, Ю.Л. Воробьев, М.П. Фалеев и др.; изд. 2-е. – М.: Высшая школа, 2007. – 365 с.
3. Мастрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Б.С. Мастрюков. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 280 с.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях; под ред. Н.К. Шишкина. – М.: ГУУ, 2000. – 160 с.
5. Васильев В.П. Устойчивость объектов экономики в чрезвычайных ситуациях / В.И. Васильев. – СПб.: Издательство СПб политехнический университет, 2002. – 270 с.
6. Белобородов В.Н. Предупреждение ЧС и повышение устойчивости функционирования организаций / В.Н. Белобородов. – М.: Библ. «Военные знания», 2001. – 244 с.

### МЕХАНИЗМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

А.С. Сапожков, ст. гр.10А32, С.Б. Сапожков, д.т.н. профессор,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail:wh13@bk.ru

При нанесении защитного покрытия на поверхность изделия образуется система поверхность – покрытие, с различными коэффициентами теплопроводности  $\lambda$  и толщиной  $\delta$ . Рассмотрим случай полубесконечного тела с нанесенным на него защитным покрытием толщиной  $\delta_{зп}$ . Обозначим через  $T$  температуру в месте контакта. Кроме того, известна температура наружного слоя  $T_{зп}$ . Тепловой контакт между поверхностями предполагается идеальным.

Выделим в полубесконечном теле (рис. 1) элемент толщиной равной толщине пластины с начальной температурой слоя  $T_1$ .

Используя теорию теплопроводности, найдем температуру наружного слоя.

При стационарном режиме плотность теплового потока постоянна и для всех слоев одинакова. Поэтому можно написать [1]:

$$q = \frac{\lambda_{зп}}{\delta_{зп}} (T - T_{зп}). \quad (1)$$

Из этого уравнения легко определить температурный напор в слое через покрытие:

$$T - T_{зп} = q \frac{\delta_{зп}}{\lambda_{зп}}, \quad (2)$$

отсюда легко найти температуру  $T_{зп}$ :

$$T_{зп} = T - q \frac{\delta_{зп}}{\lambda_{зп}}.$$

(3)

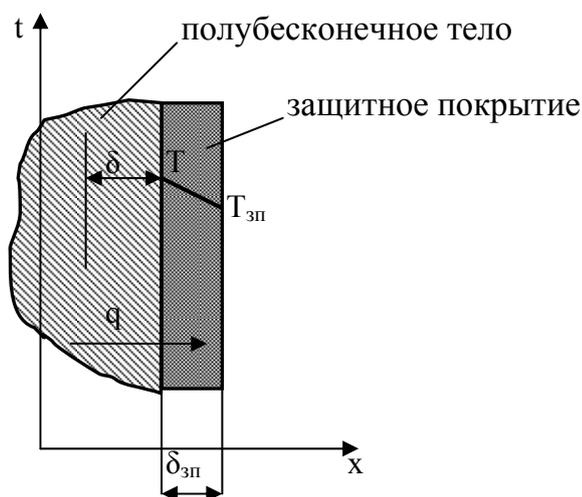


Рис. 1. Схема распределения температур с применением защитного покрытия

Таким образом, температура наружного слоя зависит от значений термических сопротивлений и толщины защитного покрытия.

Защитные покрытия имеют различные коэффициенты теплопроводности. Отсюда следует, что тепловой поток, проходящий через покрытие, может иметь разные значения. Чем больше коэффициент теплопроводности защитного покрытия, тем меньше плотность теплового потока. Это в свою очередь влияет на распределение остаточных напряжений. Слой покрытия препятствует быстрому

отводу теплоты из пластины после сварки, что способствует релаксации напряжений (пластина испытывает местный отпуск).

Еще одним из факторов, влияющих на распределение остаточных напряжений, является температурный. В процессе сварки источник теплоты постоянно перемещается, температуры точек тела вначале повышаются, достигая своего максимального значения, а затем снижаются [2,3]. В более удаленных точках температура повышается медленнее и позже достигает своего максимального значения. Возникновение сварочных напряжений связано с неравномерным нагревом металла и его расширением. Температура в процессе охлаждения будет зависеть от параметров режима сварки, от теплофизических свойств материала и удаленности рассматриваемой точки от шва. Известно, что покрытия, применяемые для защиты свариваемых изделий от капель (брызг) расплавленного металла при сварке в  $\text{CO}_2$ , являются сложными, вязко – пластичными системами, особенность структуры и свойств которых обусловлены различными по природе конкурирующими взаимодействиями между функциональными группами молекул одного или разных типов [4]. Большинство защитных покрытий – это растворы и расплавы высокомолекулярных полимеров, коллоидные суспензии, концентрированные суспензии различных твердых или пластичных материалов и т. п. Их теплофизические свойства различны. Наличие на поверхности изделия защитного покрытия по-разному влияет на скорость охлаждения, а, следовательно, и на распределение остаточных напряжений.

Мгновенная скорость охлаждения  $\omega$  является первой производной температуры по времени:

$$\omega = \frac{dT}{dt}. \quad (4)$$

Скорости охлаждения обычно определяют только для оси шва, ввиду их незначительного отличия от скоростей охлаждения околошовных зон [2,3].

При сварке пластин встык скорость охлаждения определяется по формуле:

$$\omega = -2\pi\lambda c\gamma \frac{(T - T_H)^3}{[q / (V\delta)]^2}, \quad (5)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности;  $c$  - удельная теплоемкость;  $\gamma$  – плотность;  $T_H$  – температура подогрева;  $T$  – температура, до которой нагревается металл;  $q/V$  – эффективная погонная энергия;  $\delta$  – толщина пластины. Сварка производится без подогрева.

Заменим  $T - T_H = T - T_{3п}$  – температурный поток через покрытие, поставим это значение в формулу (5) и после преобразований получим

$$\omega = -2\pi\lambda c\gamma \frac{(T - T_{3п})^3}{[q / (V\delta)]^2}. \quad (6)$$

Скорость охлаждения через покрытие

$$\omega_{3п} = -2\pi\lambda_{3п} c_{3п} \gamma_{3п} \frac{(T - T_{3п})^3}{[q / (v\delta_{3п})]^2}. \quad (7)$$

Введем энергию сварки  $q = \eta UI$  и подставим в формулу (7).

В результате математических подсчетов получим, что скорость охлаждения через слой защитного покрытия уменьшается на 30 – 40% по – сравнению с образцами без покрытия. Из формулы (7) видно, что скорость охлаждения зависит от теплофизических свойств покрытия и от погонной энергии сварки.

Литература.

1. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.; Энергия, 1977. – 344 с.
2. Соломатин, В.Е. Остаточные напряжения в листовых заготовках из сталей 10ХСНД и 60С2 / В.Е. Соломатин, М. В. Галкин //Сварочное производство. – 2001. – №6. – С. 58-59.
3. Винокуров, В. А. Сварочные напряжения и деформации /В. А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1968. – 236 с.
4. Сапожков С.Б. Исследование взаимодействия брызг расплавленного металла с поверхностью свариваемого изделия и разработка средств снижения набрызгивания при сварке в  $\text{CO}_2$ : Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06. Барнаул, 1999. 139 с.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХРОМА, МАРГАНЦА И СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ ДО И ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ**

*В.А. Елонова, уч. мастер I категории каф. неорганической химии, О.О. Паталахина, студент, научный руководитель: Суровой Э.П., д-р хим. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Кемеровский Государственный Университет», г. Кемерово 652300, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. 8(3842)-58-06-05 E-mail: viktoryaelonova@mail.ru, ForomonD@bk.ru*

Исследование оптических свойств наноразмерных пленок Cr и Mn имеет большое значение из-за широкого использования в различных областях.

Хром и его соединения активно используются в промышленном производстве, особенно в металлургии, химической, огнеупорной промышленности. Используется в качестве износостойчивых и красивых гальванических покрытий (хромирование).

Марганец широко используется в черной металлургии и сплавах. Соединения Mn используются в производстве стекла, в керамической, красильной и полиграфической промышленности, в сельском хозяйстве. Целью работы являлось исследование закономерностей изменения оптических свойств наноразмерных пленок Cr, Mn и систем на их основе до и после термообработки при  $T=473\text{K}$ .

Образцы готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких слоев хрома и марганца на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост ВУП-5М. Спектры поглощения пленок хрома и марганца до и после теплового воздействия осуществляли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами. В ходе исследований установили, что термическая обработка приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образцов. Наряду с уменьшением в исследуемом диапазоне длин волн ( $\lambda = 300-1100$  нм) оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

В результате хранения, а также термической обработки пленок Mn спектры поглощения образца претерпевают существенные изменения. Причем, наблюдаемые изменения спектра поглощения после термической обработки образца в значительной степени зависят от первоначальной толщины пленки Mn и времени обработки.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ( $2 \cdot 10^{-3}$  Па) путем нанесения тонких слоев хрома и марганца на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост ВУП-5М [1 - 5]. В качестве испарителя использовали лодочки, изготовленные из молибденовой жести. Оптимальное расстояние от лодочки - испарителя до подложки составляет 9-10 см. Подложками служили стекла от фотопластинок, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе бихромата калия, в кипящей воде, промывали в дистиллированной воде и сушили [3, 5]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 – 1100 нм. Толщину хромовых и марганцевых пленок определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами [3 - 5]. Образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры (473 К) фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в течение 0,5-600 минут в сушильном шкафу «Тулячка ЗП». Регистрацию эффектов до и после теплового воздействия образцов осуществляли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»).

На рис. 1 приведены спектры поглощения пленок хрома толщиной  $d=8$  нм до и после термической обработки при  $T=473$  К.

Видно, что термическая обработка приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образцов. Наряду с уменьшением в исследуемом диапазоне длин волн ( $\lambda = 300-1100$  нм) оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

На рис. 2 в качестве примера приведены спектры поглощения пленок марганца толщиной 3 нм до и после термической обработки при  $T=473\text{K}$ . В результате хранения, а также термической обработки пленок Mn спектр поглощения образца претерпевает существенные изменения. Причем, наблюдаемые изменения спектра поглощения после термической обработки образца в значительной степени зависят от первоначальной толщины пленки Mn и времени обработки.

На рис. 3 в качестве примера приведены спектры поглощения системы пленок Cr-Mn до и после термообработки при  $T=473\text{K}$ . Видно, что термическая обработка приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образцов. По мере увеличения времени термообработки исследуемых объектов наблюдается уменьшение оптической плотности во всем исследованном диапазоне длин волн.

На рис. 4 и 5 в качестве примера приведены кинетические кривые степени превращения некоторых пленок Cr и Mn при  $T=473$  К. Прежде всего, было отмечено, что степень превращения образцов по мере увеличения времени термообработки возрастает.

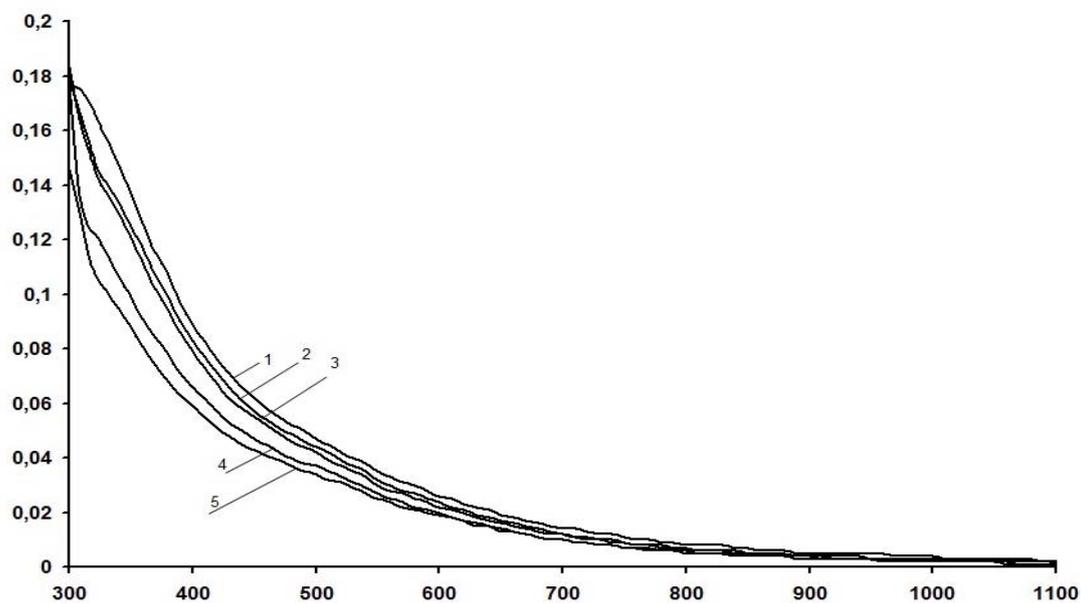


Рис. 1. Спектры поглощения пленки Cr ( $d=8$  нм) до и после термообработки К: 0 сек(1), 90 сек(2), 480 сек(3), 600 сек(4), 720 сек(5)

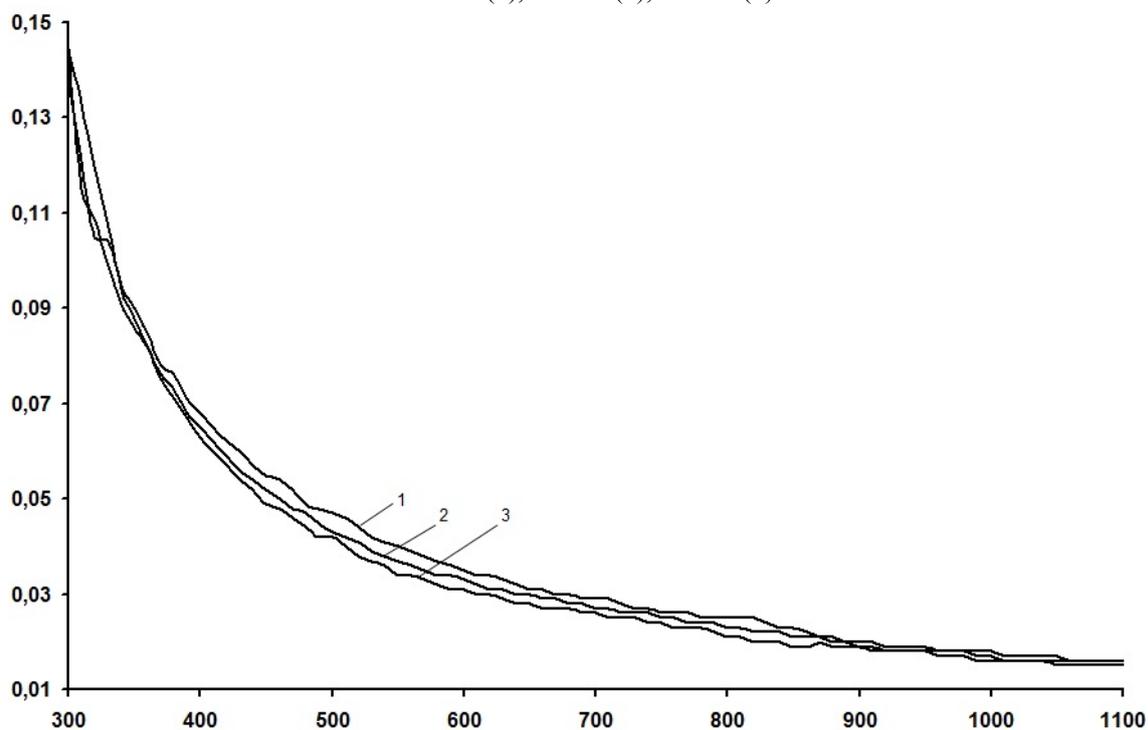


Рис. 2. Спектры поглощения пленки Mn ( $d=3$  нм) до и после термообработки К: 0 сек(1), 240 сек(2), 480 сек (3)

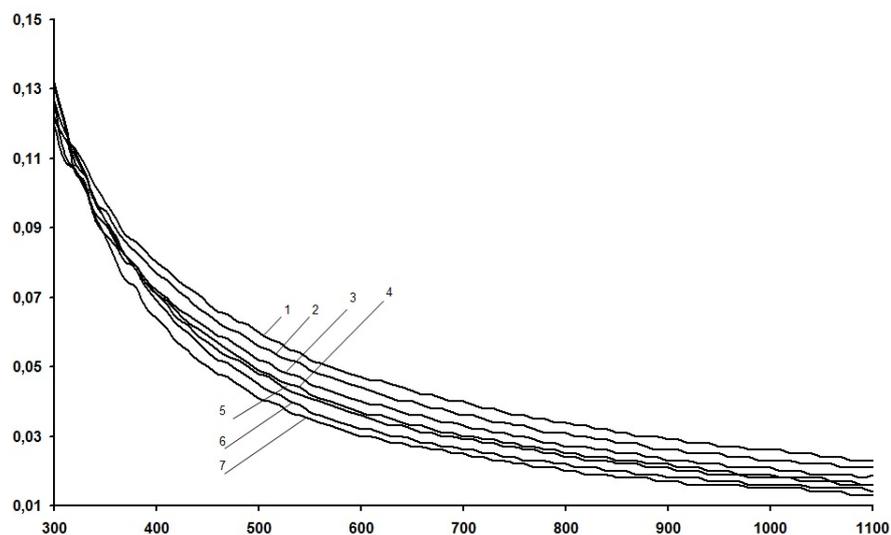


Рис. 3. Спектры поглощения системы хром – марганец толщиной  $d = (8 \text{ нм}; 3 \text{ нм})$  до и после термообработки К: 0 сек(1), 30сек (2), 90сек(3), 120сек(4), 180 сек(5), 240сек(6), 360 сек(7)

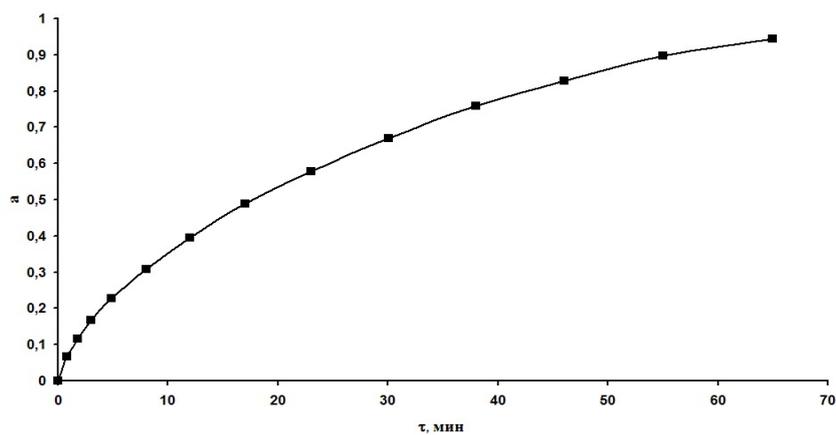


Рис. 4. Зависимость степени превращения пленок Si при термообработке при температуре  $T = 473 \text{ К}$

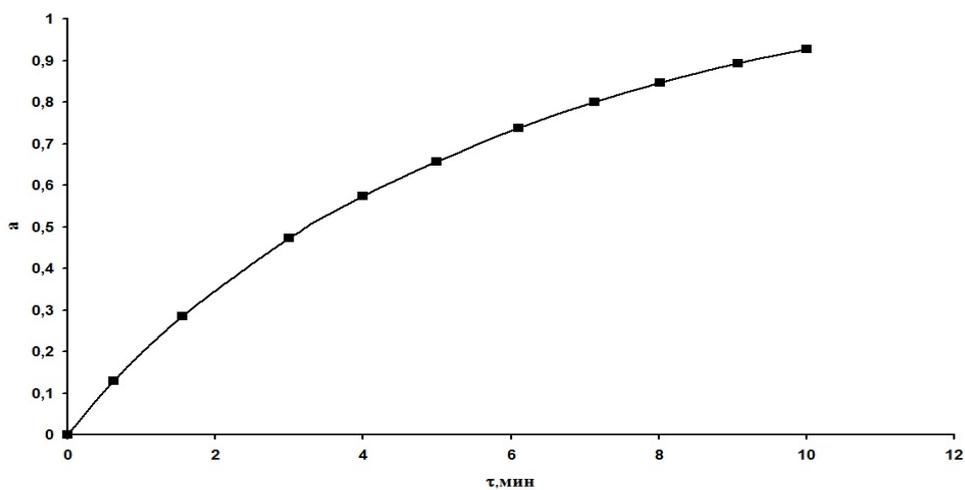


Рис. 5. Зависимость степени превращения пленок Mn при термообработке при температуре  $T = 473 \text{ К}$

Литература.

1. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. Термопревращения в наноразмерных слоях  $\text{MoO}_3$  // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 11. С. 2120–2125.
2. Э. П. Суrowой, Л.Н. Бугерко, В.Э.Суrowая и др. соавт., Русс. Ж. Физ. Химии. Хим. С. 86, 621 (2012).
3. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы  $\text{In-In}_2\text{O}_3$  // Неорган. материалы. 2012. Т. 48. № 7. С. 819–824.
4. Борисова, Н. В. Методы исследования неорганических материалов: учебное пособие// Н. В. Борисова, Л. Н. Бугерко, С. М. Сирик, Э. П. Суrowой, И. В. Титов: ГОУ ВПО «КемГУ». – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2008. - 182 с.
5. Э.П.Суrowой и С.В. Бин, Русс. Журнал Физической химии, Химия, с.87,473(2013)
6. Борисова Н.В., Суrowой Э.П. // Коррозия: материалы, защита. 2007. № 6. С. 13.
7. Э. П. Суrowой, Л.Н. Бугерко, В.Э.Суrowая. Русс. Ж. Физ. Химии. Хим. С. 86, 621 (2013).

## СЕКЦИЯ 3: ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МАТЕМАТИКИ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ

А.В. Балашов, к.т.н., доцент, А.А. Верховская, магистрант, И.С. Потапов, студент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46  
E-mail: bavagtu@mail.ru

Для управления качеством механической обработки необходимо математическое описание процесса резания, раскрывающего влияние на него различных факторов.

Одними из показателей качества обработки является точность размера, точность формы и точность взаимного расположения поверхностей. В соответствии с существующими методиками, определение показателей точности не представляет трудностей, если известен массив радиус - векторов описывающих профиль поверхности.

В качестве примера рассмотрим модель расчета показателей точности отверстия в корпусной детали при растачивании (рис. 1) [1].

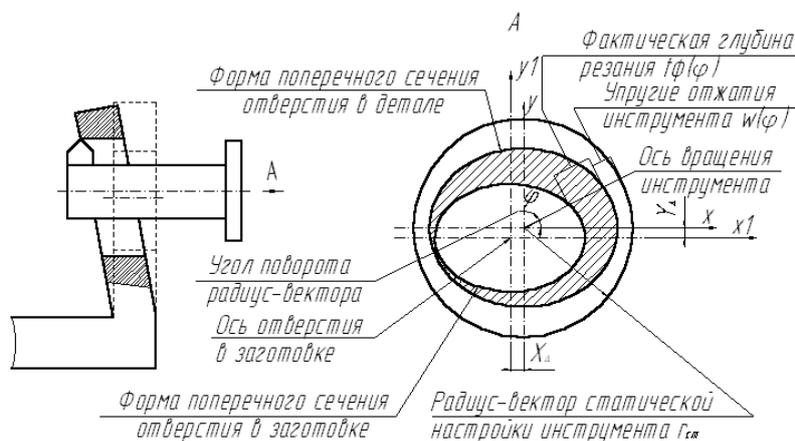


Рис. 1. Расчетная схема

В соответствии с существующими методиками определение показателей точности не представляет трудностей если известен массив радиус – векторов описывающих профиль поверхности.

Радиус - вектор, описывающий отверстие можно записать,  $\vec{r}(\varphi)$ :

$$\vec{r}_o(\varphi) = \vec{r}_{cm} - \vec{\omega}(\varphi), \quad (1)$$

где  $\vec{r}_{cm}$  – радиус - вектор статической настройки расточной борштанги;  $\vec{\omega}(\varphi)$  – зависимость упругих отжатий от угла поворота радиус-вектора;  $\varphi$ - угол поворота радиус – вектора.

Зависимость упругих отжатий от угла поворота радиус-вектора расточной борштанги определяется:

$$\vec{\omega}(\varphi) = \frac{P_y(\vec{t}_\varphi(\varphi)) \cdot l_0^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{P_x(\vec{t}_\varphi(\varphi)) \cdot (r_{cm} + r_p) \cdot l_0^3}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{P_z(\vec{t}_\varphi(\varphi)) \cdot l_0^3}{3 \cdot E \cdot I}, \quad (2)$$

где  $P_y(\vec{t}_\varphi(\varphi))$ ,  $P_x(\vec{t}_\varphi(\varphi))$ ,  $P_z(\vec{t}_\varphi(\varphi))$  – зависимость радиальной, осевой и тангенциальной силы резания от фактической глубины резания, соответственно;  $\vec{t}_\varphi(\varphi)$  - зависимость глубины резания от угла поворота радиус-вектора;  $r_p$  - вылет резца;  $l_0$ - длина консольной части оправки от вершины резца до торца шпинделя;  $E$  - модуль упругости материала расточной борштанги;  $I$  - момент инерции поперечного сечения расточной оправки.

Зависимость глубины резания от угла поворота радиус вектора определяется:

$$\vec{t}_\phi(\varphi) = r_{cm} - \vec{r}_3(\varphi), \quad (3)$$

где  $r_3(\varphi)$ - радиус – вектор отверстия в заготовке.

Формулу (3) можно преобразовать в следующий вид:

$$\vec{t}_\phi(\varphi) = \sqrt{(x(\varphi) - x_I(\varphi))^2 + (y(\varphi) - y_I(\varphi))^2}, \quad (4)$$

$$\text{где} \quad \begin{cases} x(\varphi) = r_{cm} \cdot \cos(\varphi) \\ y(\varphi) = r_{cm} \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad \begin{cases} x_I(\varphi) = r_3 \cdot \cos(\varphi) - \Delta x \\ y_I(\varphi) = r_3 \cdot \sin(\varphi) - \Delta y \end{cases}, \quad (5)$$

где  $\Delta x, \Delta y$  – величина несовпадения положений оси отверстия в заготовке и оси вращения расточной борштанги по осям X и Y, соответственно.

Значения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  равны:

$$\begin{cases} \Delta x = \omega_{noz,x} + \omega_{уст.p.u.} + \omega_\delta + \omega_{уст.заг,x} \\ \Delta y = \omega_{noz,y} + \omega_{уст.p.u.} + \omega_\delta + \omega_{уст.заг,y} \end{cases}, \quad (7)$$

где  $\omega_{noz,x}, \omega_{noz,y}$  – погрешность позиционирования рабочего органа станка по осям X и Y, соответственно;  $\omega_{уст.p.u.}$  – погрешность установки расточной борштанги в шпиндель станка;  $\omega_\delta$  – биение оси посадочного отверстия шпинделя станка под расточную борштангу относительно оси вращения;  $\omega_{уст.заг,x}, \omega_{уст.заг,y}$  – погрешность установки заготовки по осям X и Y, соответственно.

В соответствии с рассмотренной выше методике создано компьютерная программа расчета показателей точности отверстий в корпусных деталях при растачивании в среде MathCAD. Экранные формы программы приведены на рис. 2.

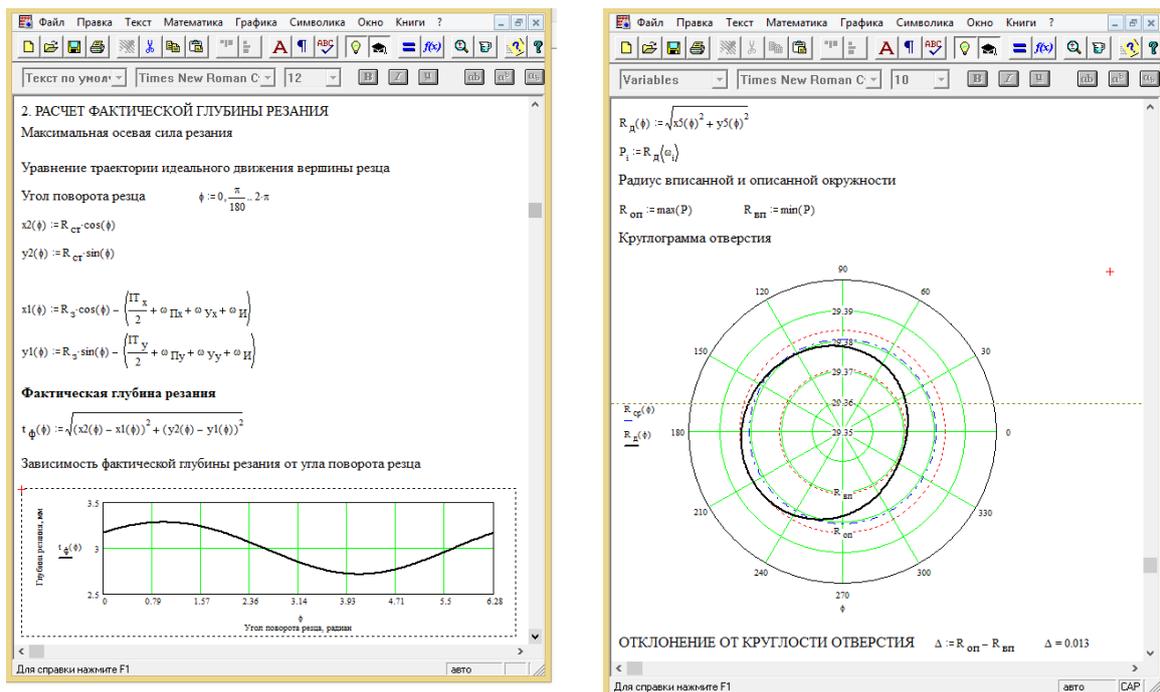


Рис. 2. Экранные формы программы расчета показателей точности отверстия, полученного растачиванием

Предлагаемая модель может использоваться для снижения брака в производстве корпусных деталей или в качестве ограничения при оптимизации режимов резания.

Литература.

1. Балашов А.В. Прогнозирование показателей точности обработки отверстий при растачивании. Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2004. № 3. С. 30-31.

## СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЗАДАНИЙ ПО ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ WOLFRAM MATHEMATICA

*Е.В. Гнедаш, студентка гр.17В20,  
научный руководитель: Чернышева Т.Ю., к.т.н., доцент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: sunshine9494@rambler.ru*

В статье рассматривается возможность применения пакета Wolfram Mathematica для решения заданий и создания автоматической генерации вариантов контрольных работ и ответов к ним по разделу математической дисциплины - линейная алгебра.

Использование компьютерных математических систем на занятиях оказывает существенное влияние на все компоненты целостного образовательного процесса, а именно позволяет:

1. Организовать творческую, исследовательскую деятельность учащихся. Возможности, предоставляемые программой (автоматизация вычислений, построение графиков, динамичное представление информации), позволят усилить мотивацию учения.

2. Реализовать связь теории с практикой (основой вычислительного эксперимента является математическое моделирование, геометрической базой – прикладная математика).

4. Способствовать формированию алгоритмической культуры учащихся.

5. Визуализировать учебную информацию, представить ее в виде графиков; показать геометрические объекты в динамике, проиллюстрировать процесс изменения геометрических объектов с изменением значений параметров.

6. Высвободить учебное время за счет выполнения на компьютере трудоемких вычислительных работ и деятельности, связанной с числовым анализом.

В качестве средства информационных технологий предлагается система компьютерной алгебры Wolfram Mathematica 9.0 – это мощная и эффективная компьютерная математическая система, позволяющая выполнять не только численные, аналитические и графические вычисления, но и гораздо большее: от моделирования и симуляции, визуализации, документации, до создания веб-сайтов. Система Mathematica имеет без малого 5 000 встроенных функций, покрывающих все области технических вычислений. При этом наиболее сильной стороной системы Mathematica по сравнению с другими приложениями является возможность проводить сложные символьные преобразования. Более того, по уровню использования графики Mathematica превосходит все имеющиеся к настоящему времени компьютерные математические системы. В США, Западной Европе и Японии Mathematica применяется в качестве базисной для построения курса математики во многих высших технических и гуманитарных учебных заведениях [1].

Для любого преподавателя существует проблема проверки знаний учащихся по своему предмету. Стандартной проверкой знаний учащегося обычно служит некоторая контрольная работа или тест. Создание большого количества схожих вариантов одной контрольной работы потребует огромного количества времени, особенно если снабдить каждого учащегося уникальным вариантом. В обычной группе студентов ВУЗа около 20 человек, даже если один вариант контрольной работы будет содержать всего 2 задания, то потребуются создать уже 40 задач. К тому же нужно помнить о том, что вся информация, в том числе и варианты контрольных работ, могут быстро распространиться в интернете и следующие группы студентов будут уже знать заранее все, что будет в контрольной, если, особенно, существует, например, всего 4 варианта некоторой контрольной работы, которые даются из года в год учащимся [2].

С помощью Wolfram Mathematica можно решить описанные проблемы, генерируя качественные задания вместе с ответами к ним в нужном количестве. При этом можно быть уверенным в том, что все задачи будут корректны, а ответы будут абсолютно точно верны.

Создадим вариант контрольной работы по линейной алгебре, который будет содержать 2 задачи:

1) методом Гаусса решить систему 3-х линейных уравнений с 4 неизвестными;

2) вычислить определитель 3-го порядка;

Задание 1. Методом Гаусса решить систему 3-х линейных уравнений с 4 неизвестными.

С помощью функции RandomInteger сгенерируем основную матрицу системы и вектор свободных членов. При этом пусть коэффициенты при неизвестных будут целыми числами в интервале [-4,4], а свободные члены – [-6, 6]:

```

A:=RandomInteger[{-4,4},{3,4}]
B:=RandomInteger[{-6,6},3]
{A,B}

Out[19]=
{{{ -3, -3, 0, 1}, {0, 3, -3, -2}, {0, -2, -3, 3}}, {-4, 1, 4}}

```

Рис. 1. Применение функции RandomInteger

Ввиду случайной генерации основной матрицы системы, возможна ситуация, когда некоторая строка (или строки) или некоторый столбец (столбцы) будут состоять только из нулей или в матрице будет несколько одинаковых строк или если все элементы столбца свободных членов будут нулями. Исключим возможность появлений таких ситуаций:

```

In[20]:=
A :=Block[{A,AGenerator},AGenerator:=RandomInteger[{-4,4},{3,4}];
A=AGenerator;
While[Length[DeleteDuplicates[A]]<Length[A]||Or@@(DeleteCases[#,0]=={}/@A)||
Or@@(DeleteCases[#,0]=={}/@Transpose[A]),A=AGenerator];A]
B:=Block[{B,BGenerator},BGenerator:=RandomInteger[{-6,6},3];
B=BGenerator;While[DeleteCases[B,0]=={}/B,B=BGenerator];B]
{A,B}

Out[22]=
{{{4,-1,-4,3},{2,3,3,-3},{0,2,4,3}},{-3,1,-4}}

```

Рис. 2. Исключение возможности появления неблагоприятных ситуаций

Здесь были использованы функции:

- Apply в виде @@, применяет функцию, переданную в качестве первого аргумента, к параметрам, которые переданы вторым и третьим аргументом.
- SameQ, которая проверяет идентичность двух выражений, обычно употребляется в виде ==, т. е. SameQ[x, y] тоже что и x==y.
- Length[list] длина списка list
- Or[a, b] или a||b Логическое ИЛИ, (a ИЛИ b)
- Transpose[matrix] транспонирование матрицы matrix
- DeleteDuplicates[list] устранение повторяющихся элементов в списке list
- Функция DeleteCases[expr, pattern] будет нашим фильтром — она удаляет из списка expr все элементы, которые совпадают с образцом pattern[3].

Теперь построим систему линейных уравнений:

```

In[23]:=
system:=Thread[A.{x[1],x[2],x[3],x[4]}==B]
system

Out[24]=
{2 x[1]-x[2]-2 x[3]+2 x[4]==0,x[1]-x[2]-2 x[3]+2 x[4]==0,-4 x[1]-x[2]+2 x[3]-3 x[4]==2}

```

Рис. 3. Применение функции Thread к функциям, аргументами которых являются списки

В простейшем варианте Thread[func[args]] функция содержит всего один аргумент и в процессе вычисления применяет func к каждому элементу выражения args. Если выражение args включает в себя списки, то функция func будет применена не к спискам в целом, а к их элементам. Функция Thread, позволяет “распространить” функцию над всеми списками, которые входят в ее тело в качестве аргументов.

Теперь попробуем найти решение системы, это можно сделать с помощью функции Reduce, которая вычисляет значения переменных:

```
In[26]:= system
Out[26]:= {2 x[1]+4 x[2]+2 x[3]==6,-2 x[1]-3 x[2]-2 x[3]+3 x[4]==-2,2 x[2]+2 x[3]+4 x[4]==2}
In[29]:= Reduce[%, {x[1], x[2], x[3], x[4]}]
Out[28]:= x[2]==14/5-3 x[1]/5&&x[3]==-13/5+x[1]/5&&x[4]==2/5+x[1]/5
```

Рис. 4. Результат функции Reduce

Создадим функцию, которая будет выдавать задание в привычном виде:

```
In[31]:= task[2][system_]:=TraditionalForm[RowBoxes[RowBox[{"",GridBox[Transpose[{ToBoxes/@(system/.x[_]>x_i)}]}]]]
In[33]:= task[2][system]
Out[33]/TraditionalForm=
{-x1+x2+3 x3+3 x4==6
 -3 x1+4 x3+3 x4==2
 -x1-4 x2-x3+2 x4==4}
```

Рис. 5. Применение функций TraditionalForm, RowBoxes, RowBox, GridBox, ToBoxes

Во введенной функции были использованы следующие встроенные выражения: функция TraditionalForm, позволяющая представить выражение в привычной математической нотации и функции RowBoxes, RowBox, GridBox, ToBoxes с помощью которых осуществляется низкоуровневое форматирование выражений.

Теперь создадим функцию, которая будет выдавать ответ в привычной форме:

```
answer[2][system_]:=TraditionalForm[Reduce[system,{x[1],x[2],x[3],x[4]}/.x[_]>x_i]
system]
Out[37]:= {-4 x[1]+4 x[2]-2 x[3]-2 x[4]==-5,-2 x[2]+4 x[4]==-6,4 x[1]+4 x[2]-4 x[4]==4}
In[38]:= task[2][%]
Out[38]/TraditionalForm=
{-4 x1+4 x2-2 x3-2 x4=-5
 -2 x2+4 x4=-6
 4 x1+4 x2-4 x4=4}
In[39]:= answer[2][%%]
Out[39]/TraditionalForm=
x2=-2 x1-1^x3=5/2-5 x1^x4=-x1-2
```

Рис. 6. Ответ на задание 1 в привычной форме

Задание 2. Вычислить определитель 3-го порядка.

С помощью функции `RandomInteger` сгенерируем определитель третьего порядка с элементами, которые являются положительными целыми числами в интервале [2, 15]:

```
In[40]:= det:=RandomInteger[{2,15},{3,3}]
det

Out[41]:= {{9,13,15},{14,6,15},{8,8,3}}
```

Рис. 7. Применения функции `RandomInteger`

Наложим на генерируемую матрицу ограничения (отсутствие повтора одинаковых столбцов):

```
det :=Block[{det,detGenerator},detGenerator:=RandomInteger[{2,15},{3,3}];
det=detGenerator;While[Length[DeleteDuplicates[A]]<Length[det]||
Length[DeleteDuplicates[Transpose[A]]]<Length[Transpose[A]],det=detGenerator];det
det

Out[43]:= {{9,3,9},{3,13,6},{2,7,6}}
```

Рис. 8. Исключение возможности появления неблагоприятных ситуаций

Создадим функцию, которая будет выдавать задание в привычном виде (функция `Grid` позволяет сформировать таблицу):

```
In[44]:= task[3][det_]:=TraditionalForm[Abs[Grid[det]]]
task[3][det]

Out[45]/TraditionalForm=


|   |   |    |
|---|---|----|
| 2 | 9 | 13 |
| 4 | 3 | 11 |
| 9 | 6 | 14 |


```

Рис. 9. Применение функции `Grid`

Сделаем функцию, которая будет вычислять ответ (функция `Det` позволяет вычислить определитель произвольной квадратной матрицы, как символьно, так и численно) и проверим работоспособность функций на конкретном примере:

```
In[46]:= answer[3][det_]:=Det[det]
det

Out[47]:= {{5,5,10},{13,6,13},{13,14,5}}

In[48]:= task[3][%]

Out[48]/TraditionalForm=


|    |    |    |
|----|----|----|
| 5  | 5  | 10 |
| 13 | 6  | 13 |
| 13 | 14 | 5  |



answer[3][%%]

-88
```

Рис. 10. Применение функции `Det`

Используя созданные функции можно теперь создать один вариант контрольной работы:

```

In[119]:= variant:={task[2][#],answer[2][#]}&[system],
{task[3][#],answer[3][#]}&[det]
variant


$$\left\{ \left\{ \begin{array}{l} x_1 + 4x_2 - 2x_3 - 4x_4 = -5 \\ -4x_2 - 3x_3 - 4x_4 = -2 \\ 4x_1 - 2x_2 - 3x_3 - 3x_4 = -2 \end{array} \right. \right\},$$


$$x_2 = -\frac{19x_1}{28} - \frac{11}{28}, x_3 = \frac{31x_1}{7} + \frac{1}{7}, x_4 = \frac{11}{14} - \frac{37x_1}{14},$$


$$\left\{ \left| \begin{array}{ccc|c} 11 & 10 & 14 & \\ 6 & 5 & 9 & 50 \\ 8 & 3 & 13 & \end{array} \right|, 50 \right\}$$


```

Рис. 11. Создание одного варианта контрольной работы

Теперь создадим столько разных вариантов, сколько человек в группе, например 20:

```

In[126]:= variants[n_]:=Block[{variants,variantsGenerator},
variantsGenerator:=Table[variant,{n}];
variants=variantsGenerator;
While[Total[Length[DeleteDuplicates[#]]&/@Transpose[variants[{:,:,:,1}]]]=n,
variants=variantsGenerator];variants]
variants[20]

Out[127]:= 
$$\left\{ \left\{ \begin{array}{l} -4x_1 - 3x_2 - 4x_3 + 4x_4 = -2 \\ x_1 - 3x_2 + 2x_3 + 4x_4 = -4 \\ -x_1 + 4x_2 - x_3 - 2x_4 = 1 \end{array} \right. \right\}, x_2 = \frac{x_1}{5} - \frac{2}{5}, x_3 = -\frac{5x_1}{6} - \frac{1}{3}, x_4 = \frac{19x_1}{60} - \frac{17}{15}, \left\{ \left| \begin{array}{ccc|c} 11 & 12 & 10 & \\ 10 & 7 & 10 & 415 \\ 14 & 7 & 5 & \end{array} \right|, 415 \right\},$$


$$\left\{ \left\{ \begin{array}{l} -2x_1 - 3x_2 + 2x_3 - 4x_4 = -3 \\ -2x_1 + x_3 - x_4 = -4 \\ x_1 + x_2 - 3x_3 - 3x_4 = -3 \end{array} \right. \right\}, x_2 = \frac{11x_1}{10} - 3, x_3 = \frac{27x_1}{20} - 2, x_4 = 2 - \frac{13x_1}{20}, \left\{ \left| \begin{array}{ccc|c} 8 & 14 & 15 & \\ 14 & 13 & 10 & 86 \\ 8 & 9 & 7 & \end{array} \right|, 86 \right\},$$


$$\left\{ \left\{ \begin{array}{l} -2x_1 + 3x_2 + 2x_3 = -6 \\ -x_1 + x_2 + 3x_3 + x_4 = -5 \\ 3x_2 - x_3 + 2x_4 = 3 \end{array} \right. \right\}, x_2 = \frac{10x_1}{23} - \frac{16}{23}, x_3 = \frac{8x_1}{23} - \frac{45}{23}, x_4 = \frac{36}{23} - \frac{11x_1}{23}, \left\{ \left| \begin{array}{ccc|c} 12 & 12 & 8 & \\ 8 & 10 & 14 & 448 \\ 11 & 8 & 13 & \end{array} \right|, 448 \right\},$$


$$\left\{ \left\{ \begin{array}{l} 3x_1 - 3x_2 - 2x_3 + 3x_4 = 2 \\ 4x_1 - 3x_2 - 2x_3 - 2x_4 = -6 \\ x_1 - 3x_2 - 2x_3 + 3x_4 = 0 \end{array} \right. \right\}, x_1 = 1, x_2 = \frac{16}{5} - \frac{3x_3}{2}, x_4 = \frac{9}{5}, \left\{ \left| \begin{array}{ccc|c} 2 & 7 & 3 & \\ 15 & 7 & 7 & -623 \\ 11 & 14 & 15 & \end{array} \right|, -623 \right\},$$


$$\left\{ \left\{ \begin{array}{l} x_1 - 3x_2 - 4x_3 - 4x_4 = -2 \\ -3x_1 - 2x_2 - x_3 + 3x_4 = 4 \end{array} \right. \right\}, x_2 = -\frac{69x_1}{114} - \frac{114}{114}, x_3 = \frac{12x_1}{114} + \frac{53}{114}, x_4 = \frac{67x_1}{114} + \frac{87}{114}, \left\{ \left| \begin{array}{ccc|c} 11 & 2 & 12 & \\ 6 & 7 & 11 & -659 \\ & & & \end{array} \right|, -659 \right\},$$


```

Рис. 12. Создание нескольких разных вариантов контрольной работы

После этого остается только экспортировать полученные варианты и ответы к ним, например, в TIFF и распечатать. Это можно сделать с помощью функции Export (функция NotebookDirectory дает адрес директории в которой сохранен текущий документ Mathematica).

После генерации, в данном случае картинок, остается их распечатать и разрезать на варианты. Теперь можно генерировать произвольное число качественных вариантов вместе с ответами к ним, при этом как все задачи, так и все ответы будут корректны.

На уроках математики использование компьютерных математических систем предполагает построение новой или изменение традиционной методической деятельности преподавателя. Использование компьютерных программных продуктов в учебном процессе предъявляет новые требования к профессиональным качествам и уровню подготовки педагогов, что определяет актуальность решения задач по формированию информационной культуры педагога.

Литература.

1. Wolfram Mathematica Наиболее полная система для современных технических вычислений в мире // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.wolfram.com/mathematica/?source=nav>.
2. Русскоязычная поддержка Wolfram Mathematica // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://wolframmathematica.ru/>.
3. Справочник по Wolfram Mathematica 7/8/9 // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://kobrinik.ru/mathematica>.

## АНАЛИЗ СТОЙКОСТИ ПРАКТИЧЕСКИХ СХЕМ КРК

В.А. Эттель, доц, к.т.н., А.Н. Кайралапова, магистрант  
Карагандинский государственный технический университет  
100000, г. Караганда, Бульвар мира 56, тел.: +7(7212)567592  
E-mail: aknur\_kan91@mail.ru

Доказательство стойкости систем квантовой криптографии является не простой задачей, которая в настоящее время не решена полностью ни для одного протокола. Однако в течение последних лет, были опубликованы многие анализы стойкости [1, 2], которые доказали информационно-теоретическую безопасность схемы BB84 против самой общей атаки неограниченного злоумышленника. Эти доказательства стойкости ограничены, так как они всегда рассматривают теоретическое КРК (квантовое распределение ключей), которое использует совершенные кубиты. Хотя эти доказательства стойкости принимают ошибки, и протоколы используют коррекции ошибок и усиление секретности, в общем, они избегают проблем безопасности, которые возникают в результате реализации кубитов в реальном мире.

С одной стороны, несколько доказательств стойкости, рассматривающих конкретные несовершенства, были даны для протокола BB84 [3, 4]. Но, с другой стороны, в настоящее время в большинстве случаев невозможно доказать стойкость практического протокола, поскольку общая система, которая рассматривает такие реалистичные протоколы КРК и возможные атаки на такие протоколы, до сих пор отсутствует.

Данные обстоятельства обусловили актуальность темы исследования, его цель и задачи.

*Целью работы* является исследование и анализ стойкости практических схем КРК против самой общей и мощной атаки квантового пространства.

**Определение надежности.** Критерий надежности используется в новейших анализах стойкости протоколов КРК. Мы используем определение [5], чтобы доказать стойкость нескольких реализаций КРК. Протокол, считается полностью надежным, если ненулевая информация, полученная Евой, предполагает ненулевую вероятность того, что легитимные участники найдут ошибки в битах тестированных протоколом. Протокол считается полностью не надежным, если Ева может получить всю информацию, передаваемую в протоколе, не вызывая каких-либо ошибок на битах тестированных протоколом.

**Условия для «zero-error» атак.** Чтобы доказать стойкость, сформулируем условия на атаки Евы, которые подразумевают нулевой уровень ошибок. Как только эти условия будут определены, то становится возможным установить множество всех «zero-error» атак Евы, и изучить максимальную информацию, полученную с помощью этих атак.

Следствие 1. Атака Евы не вызывает никаких ошибок, если и только если для каждого состояния  $|\psi\rangle_A$ , которое посылается Алисой,

$$\sum_{i,k} \alpha_i \epsilon_{i,k} \beta_{kj} |E_{i,k}\rangle_E = 0, \quad (1)$$

для любого  $j \in J_{err}$  и для любого  $j \in J_{invalid}$ .

Определение 1. Пусть  $U_{zero}$  будет множеством атак  $U_E$ , которые не вызывают ошибок (во всех возможных установках протокола).

**Доказательства стойкости интерферометрического BB84.** Используя вышеописанный метод, продемонстрируем доказательство стойкости фазово-закодированной реализации КРК (вариант А и вариант В) против вырожденной Евы, которая ограничена в количестве фотонов, посланных в каждом импульсе. В качестве вариантов представляем несколько схем КРК «Prepare & Measure» реализованных с помощью интерферометров.

**Доказательство стойкости против ограниченного злоумышленника варианта А: Протокол BB84 с  $x$  и  $y$  базисами.** В этом варианте, Алиса и Боб используют базисы  $x$  и  $y$  для передачи кубитов. Алиса кодирует ее состояние как импульс одиночного фотона суперпозиционированного в режимах  $t'_0$  и  $t'_1$ . Пусть  $|0\rangle \equiv |10\rangle_{t'_0 t'_1}^F$  и  $|1\rangle \equiv |01\rangle_{t'_0 t'_1}^F$ . Алиса, используя  $x$  и  $y$  базисы, посылает одно из состояний

$$|0_x\rangle_A \equiv (|10\rangle_{t'_0 t'_1}^F + |01\rangle_{t'_0 t'_1}^F)/\sqrt{2} \quad |0_y\rangle_A \equiv (|10\rangle_{t'_0 t'_1}^F + i|01\rangle_{t'_0 t'_1}^F)/\sqrt{2} \quad (2)$$

$$|1_x\rangle_A \equiv (|10\rangle_{t'_0 t'_1}^F - |01\rangle_{t'_0 t'_1}^F)/\sqrt{2} \quad |1_y\rangle_A \equiv (|10\rangle_{t'_0 t'_1}^F + i|01\rangle_{t'_0 t'_1}^F)/\sqrt{2}. \quad (3)$$

Докажем полную надежность реализации  $xy$ -BB84 против Евы ограниченной одиночным фотоном. Начнем с определения множества «zero-error» атак  $U_{zero}$  для этой схемы. Затем докажем, что

любая попытка подслушивания, которая дает некоторую информацию Еве, должна вызвать вероятность ошибки больше нуля.

Как только протокол ограничен использованием однофотонных импульсов, нам необходимо сосредоточиться только на подпространстве, содержащее вакуум состояние и однофотонные состояния,  $|V\rangle, |s_0\rangle, |s_1\rangle, |s_2\rangle, |d_0\rangle, |d_1\rangle$ , и  $|d_2\rangle$ . Анализ должен рассматривать пространство, которое Боб на самом деле измеряет,  $\mathcal{H}^B$ , и состояния (посланные Алисой или Евой), которые могут повлиять на его измерения.

Измерения, выполненные Бобом описываются (для  $x$  и  $y$  баз) множеством  $J_0 = \{|d_1\rangle\}$ ;  $J_1 = \{|s_1\rangle\}$ ;  $J_{loss} = I - J_0 - J_1 = \{|V\rangle\}$ ; и  $J_{invalid} = \{\}$ , где множество  $I = \{|V\rangle, |s_1\rangle, |d_1\rangle\}$  представляет собой вычисление базиса пространства измеренного Бобом,  $\mathcal{H}^B$ , и "минус" отвечает за различие множеств. Ева может послать фотон в любое желаемое время. Однако, это будет влиять только на Боба, если послано в момент времени  $t'_0$  или  $t'_1$ . Импульс одиночного фотона, который посылается в разное время является ортогональным к  $\mathcal{H}^B$  и, таким образом, не влияет на анализ стойкости. Ева не имеет преимущества в атаке пространства большего, чем пространство используемого Алисой, таким образом,  $\mathcal{H}^P = \mathcal{H}^A$ .

Мы используем следствие 1 чтобы определить атаки Евы, которые совсем не вызывают ошибок. Для этого конкретного протокола,  $U_{zero}$  состоит из атак, которые осуществляются в четырех случаях соответствуя четырем состояниям ВВ84, посланных Алисой. Установка Боба (т.е. константы,  $\beta_{kj}$ ) определяется базисом, который он измеряет; для  $x$  – базиса Боб устанавливает  $\phi = 0$ , и мы будем использовать  $\beta_{kj}^{u_{Bx}}$  а для  $y$ -базиса Боб устанавливает  $\phi = \pi/2$  и мы используем  $\beta_{kj}^{u_{By}}$ . Используя матричную форму, получим

$$\beta_{kj}^{u_{Bx}} = \{0,1\}, j = \{s_0, s_1, s_2, d_0, d_1, d_2\} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & i & i & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & i & i \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\beta_{kj}^{u_{By}} = \{0,1\}, j = \{s_0, s_1, s_2, d_0, d_1, d_2\} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -i & 0 & i & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -i & 0 & i & -1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Рассмотрим случай, в котором Алиса посылает  $|0_x\rangle$ , т.е.  $\alpha_0 = \alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}$ . В этом случае  $J_{err} = \{|s_1\rangle\}$ , так что уравнение (1) удовлетворяет условию

$$-\frac{1}{2\sqrt{2}}(\epsilon_{0,0}|E_{0,0}\rangle_E + \epsilon_{1,0}|E_{1,0}\rangle_E) + \frac{1}{2\sqrt{2}}(\epsilon_{0,1}|E_{0,1}\rangle_E + \epsilon_{1,1}|E_{1,1}\rangle_E) = 0. \quad (6)$$

Таким же способом, мы достигаем следующих условий для других трех состояний ВВ84 посланных Алисой  $|1_x\rangle, |0_y\rangle$  и  $|1_y\rangle$ , регулируя константы соответственно:

$$\frac{i}{2\sqrt{2}}(\epsilon_{0,0}|E_{0,0}\rangle_E - \epsilon_{1,0}|E_{1,0}\rangle_E) + \frac{i}{2\sqrt{2}}(\epsilon_{0,1}|E_{0,1}\rangle_E - \epsilon_{1,1}|E_{1,1}\rangle_E) = 0 \quad (7)$$

$$-\frac{i}{2\sqrt{2}}(\epsilon_{0,0}|E_{0,0}\rangle_E + i\epsilon_{1,0}|E_{1,0}\rangle_E) + \frac{1}{2\sqrt{2}}(\epsilon_{0,1}|E_{0,1}\rangle_E - i\epsilon_{1,1}|E_{1,1}\rangle_E) = 0 \quad (8)$$

$$-\frac{1}{2\sqrt{2}}(\epsilon_{0,0}|E_{0,0}\rangle_E - i\epsilon_{1,0}|E_{1,0}\rangle_E) + \frac{i}{2\sqrt{2}}(\epsilon_{0,1}|E_{0,1}\rangle_E - i\epsilon_{1,1}|E_{1,1}\rangle_E) = 0 \quad (9)$$

имея решение

$$\epsilon_{0,0}|E_{0,0}\rangle_E = \epsilon_{1,1}|E_{1,1}\rangle_E \quad \text{и} \quad i\epsilon_{1,0}|E_{1,0}\rangle_E = \epsilon_{0,1}|E_{0,1}\rangle_E = 0 \quad (10)$$

Это означает, что  $U_{zero}$  состоит из атак формы

$$|0\rangle_E |0_z\rangle_A \xrightarrow{u_E} p|\phi\rangle_E |0\rangle_p + \sqrt{(1-p)^2}|\psi_0\rangle_E |V\rangle_p \quad (11)$$

$$|0\rangle_E |1_z\rangle_A \xrightarrow{u_E} p|\phi\rangle_E |1\rangle_p + \sqrt{(1-p)^2}|\psi_1\rangle_E |V\rangle_p, \quad (12)$$

которые является блокирующей атакой для  $p < 1$ , и тождественной атакой для  $p = 1$ . Мы видим, что Ева получает информацию о состоянии Алисы только тогда, когда состояние вакуума передается Бобу. В этом случае Ева не получает информацию о ключе и протокол является полностью надежным.

**Доказательство стойкости против ограниченного злоумышленника варианта В: Протоколы, которые использует  $z$ -базис.** По различным возможным причинам, кто-то может пожелать работать с  $z$  базисом.

Опишем установку, которую Боб может использовать для измерения  $z$  базиса, т.е. состояния  $|0_z\rangle = |10\rangle_{t'_0 t'_1}^F$  и  $|1_z\rangle = |01\rangle_{t'_0 t'_1}^F$ .

Трансформация Боба  $U_{Bz}$  – это оператор тождества и может быть определен как  $|0_z\rangle \rightarrow |s_0\rangle$  и  $|1_z\rangle \rightarrow |s_1\rangle$ , где другие режимы не являются релевантными для данного измерения. Вместо этого, мы используем здесь режим  $|d_1\rangle^F \equiv |000010\rangle^F$  чтобы заменить более понятный  $|s_0\rangle \equiv |100000\rangle^F$ , а именно,

$$|0_z\rangle \xrightarrow{u_{Bx}} |d_1\rangle; |1_z\rangle \xrightarrow{u_{Bx}} |s_1\rangle \quad (13)$$

для того, чтобы быть в соответствии с режимами, представляющими битовые значения 0 и 1, когда используются установки  $x$  и  $y$ . Это может быть обосновано установлением и удалением зеркала (замена BS1), такого, что импульс, поступающий в лабораторию на время  $t'_0$  - отражен к  $d_1$ , в то время как импульс в  $t'_1$  - к  $s_1$ . В отличие от установок для измерения  $x$  и  $y$  базисов, эта конфигурация не имеет внутренних потерь.

Обозначим протокол BB84, который использует  $x$  и  $z$  базисы путем изменения установок (добавление и удаление светоделителей и зеркал по мере необходимости), как  $xz$ -BB84 (вариант B1). Таким же образом, протокол шести состояний, используя вышеупомянутые установки будет обозначаться как схема  $xuz$ -шести-состояний (вариант B2).

Расширим доказательство стойкости схемы  $xz$ -BB84 к варианту В. Начнем с варианта B1: множества измеренные Бобом при использовании  $z$  базиса являются  $J_0 = \{|d_1\rangle\}$ ;  $J_1 = \{|s_1\rangle\}$ ;  $J_{loss} = I - J_0 - J_1$  и  $J_{invalid} = \{\}$ , как указано выше. Поскольку установка для  $z$  базиса различна, нам необходимо определить  $\beta_{kj}$  для этого случая:

$$\beta_{k=\{0,1\},j=\{s_0,s_1,s_2,d_0,d_1,d_2\}}^{u_{Bx}} = \begin{pmatrix} 0 & 00 & 01 & 0 \\ 0 & 10 & 00 & 0 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

из (1) следует, что любая атака  $U_E$ , которая приводит к нулевому уровню ошибки, должна удовлетворять

$$\epsilon_{0,1} = \epsilon_{1,0} = 0. \quad (15)$$

Набор  $U_{zero}$  состоит из атак выполняющих эти требования (6) и (7)  $x$ -базиса. Как и прежде,  $U_{zero}$  состоит только из блокирующих атак (уравнения (11) и (12)). Вариант B1 является стойким, в рамках ограничений однофотонных импульсов.

Легко проверить, что точно такой же результат имеет место при использовании  $y$ -базиса вместо  $x$ -базиса, то есть, используя требования (8) и (9). Поэтому схема BB84, в которой используется  $y$  базис вместо  $x$  (т.е.  $yz$ -BB84) является также стойкой.

Комбинируя вышеприведенные результаты следует, что схема  $xuz$ -шести-состояний (вариант B2) является также стойкой.

**Стойкость варианта А против более реалистичной Евы.** Покажем, что схема  $xu$ -BB84 устойчива против более мощной Евы, которой разрешено использование 2-фотонных импульсов. Хотя мы считаем, что протокол является устойчивым против самой мощной Евы (то есть Ева, которая не ограничена количеством фотонов), наше доказательство не масштабируется к общему случаю. Для того, чтобы показать, что протокол является устойчивым против ограниченной 2-фотонами Евы нам необходимо определить трансформацию интерферометра ИТ для 2-х фотонов. Начнем с нескольких предположений.

Предположение 1. Состояния с  $n_1$  фотонами, не могут иметь разрушительную интерференцию с состояниями занимаемые  $n_2 \neq n_1$  фотонами.

Доказательство. Поскольку  $\langle m_1, m_2, \dots, m_k | m'_1, m'_2, \dots, m'_k \rangle^F = \prod_{i=1..k} \delta_{m_i m'_i}$ , мы видим, что любое различное число фотонов (в любом режиме) делает нулевое перекрытие, поэтому такие состояния не могут исключить друг друга. Когда мы применяем любые преобразования на состояния с  $n_1$  фотонами, преобразованное состояние является суперпозицией элементов, каждый с  $n_1$  фотонами, что не может исключить любой элемент преобразованного состояния  $n_2$  фотона. Другими словами, рассмотрим интерференцию двух состояний  $|\psi_{n_1}\rangle$  и  $|\psi_{n_2}\rangle$  с  $n_1$  и  $n_2$  фотонами соответственно; если мы позволим  $IT|\psi_{n_1}\rangle = \sum_i \alpha_i |i_{n_1}\rangle$  и  $IT|\psi_{n_2}\rangle = \sum_i \alpha_i |i_{n_2}\rangle$  тогда для каждого  $i, j$  мы получаем  $\langle i_{n_1} | j_{n_2} \rangle = 0$ .

Как следствие вышеперечисленного, если суперпозиция двух (базисных) состояний  $|\psi_1\rangle$  и  $|\psi_2\rangle$ , имея различное число фотонов, поступает в интерферометр, мы можем проанализировать каждый из элементов в отдельности. Не вызывая никаких ошибок в данном случае эквивалентно нулевому перекрытию между любым состоянием в  $J_{err} \cup J_{invalid}$  и  $IT|\psi_1\rangle$  или  $IT|\psi_2\rangle$ .

Предположение 2. Если импульс с точно двумя фотонами поступает в интерферометр, его преобразованием является:

$$U_{IT}|2\rangle_{t'_0}^F = \frac{1}{4} [ |200000\rangle^F + \sqrt{2}i|100100\rangle^F - |000200\rangle^F + e^{i\phi}(-\sqrt{2}|110000\rangle^F + \sqrt{2}i|100010\rangle^F - \sqrt{2}i|010100\rangle^F - \sqrt{2}|000110\rangle^F) + e^{i2\phi}(|020000\rangle^F - \sqrt{2}i|010010\rangle^F - |000020\rangle^F) ]$$

$$U_{IT}|11\rangle_{t'_0 t'_1}^F = \frac{1}{4} [ |110000\rangle^F + i|100010\rangle^F + i|010100\rangle^F - |000110\rangle^F + e^{i\phi}(-\sqrt{2}|020000\rangle^F - \sqrt{2}|000020\rangle^F - |101000\rangle^F - i|100001\rangle^F - i|001100\rangle^F - |000101\rangle^F) + e^{i2\phi}(|011000\rangle^F - i|010001\rangle^F - i|001010\rangle^F - |000011\rangle^F) ]$$

**Доказательство.** Мы знаем, что схема ху-BB84 устойчива, если Ева ограничена состояниями, в которых число фотонов  $n \leq 1$ . В связи с предположением 1, нам необходимо доказать только случай, когда Ева использует состояния с ровно  $n = 2$  фотонами. Это будет доказано путем прямого расчета.

Разобьем доказательство на три части, согласно числу фотонов занимающих режимы  $t'_0$  и  $t'_1$  в состоянии, которое посылается Бобу:

1. Существует 0 фотонов в режимах  $t'_0$  и  $t'_1$ : например, Ева посылает состояние  $|11\rangle_{t'_4 t'_5}^F$  или  $|20\rangle_{t'_2 t'_6}^F$ . Состояния такого рода всегда вызывают потери, так как они никогда не достигают детекторов Боба в момент времени  $t_1$ . Ева может послать суперпозицию любого такого состояния, и Боб не сможет различить их от случая, в котором было послано состояние  $|V\rangle$ . Это состояние находится в  $J_{loss}$  и не влияет ни на уровень ошибок, ни на доказательство стойкости.

2. Существует одиночный фотон в режимах  $t'_0$  и  $t'_1$ : например, Ева посылает  $|11\rangle_{t'_0 t'_3}^F$ . Этот случай не тот же самый, как посылка одиночного фотона, но поскольку второй фотон никогда не вторгается в момент времени  $t_1$  в лабораторию Боба, мы можем рассматривать этот случай как отдача второго фотона Еве вместо посылания его Бобу.

3. Оба фотона находятся в режимах  $t'_0$  и  $t'_1$ , или суперпозиции, которая имеет (по крайней мере) один такой элемент.

Предположим, Ева посылает Бобу двифотонное состояние формы  $|\psi_{\alpha,\beta,\gamma}\rangle = \alpha|20\rangle_{t'_0 t'_1}^F + \beta|11\rangle_{t'_0 t'_1}^F + \gamma|02\rangle_{t'_0 t'_1}^F$ . Покажем, что если Ева не вызывает никаких ошибок, следствие 1 ограничивает состояние, посланное Евой, до многофотонной версии состояния ожидаемого Бобом. Т.е. если Боб ожидает  $|0_x\rangle$ , единственным двифотонным состоянием, которое не вызывает никаких ошибок, является  $|0_x\rangle^{\otimes 2} = (|20\rangle_{t'_0 t'_1}^F + \sqrt{2}|11\rangle_{t'_0 t'_1}^F + |02\rangle_{t'_0 t'_1}^F) / 2$ .

Мы демонстрируем вышеуказанное только для случая  $|0_x\rangle$ ; другие случаи могут быть достигнуты подобным образом. Мы устанавливаем интерферометр для  $x$ -базиса, то есть  $\phi = 0$ .

Закончим доказательство, сказав, что Ева, которая ограничена в использовании строго 2-фотонов, может избежать быть обнаруженной Бобом, только если она может генерировать (и отправить Бобу) совершенную 2-фотонную копию состояния, посылаемого Алисой. В связи с теорией неклонирования, это невозможно, и Ева, по сути, вводит ошибки в процесс. Отсюда следует, что эта схема является устойчивой против подслушивающего, который ограничен в использовании до 2-фотонов.

**Заключение.**

Реализация схемы ху-BB84 полностью надежна против Евы ограниченной одиночным фотоном и двифотонным импульсом. Реализация схем хz-BB84 и хуз-шести-состояний является стойкой в рамках ограничений однофотонных импульсов. Реализация хz-BB84-единой схемы также является стойкой против ограниченного злоумышленника.

Представленный анализ ограничен из-за ряда нескольких допущений: а) мы не позволяем использовать общие многофотонные импульсы; б) мы не рассматриваем использование когерентных состояний; в) мы анализируем только односторонние протоколы (BB84 и шести состояний); г) Ева ограничена до коллективных атак; д) мы доказываем только стойкость, а не полную безопасность.

Мы приходим к заключению, что анализ стойкости реализаций КРК должен быть осуществлен в соответствии с конкретным оборудованием, находящимся в эксплуатации. Тем не менее, любая реализация отклоняется от теории определенным образом, что должно быть учтено в анализе стойкости.

**Литература.**

1. A. C.-C. Yao. Security of quantum protocols against coherent measurements. In STOC '95: Proceedings of the twenty-seventh annual ACM symposium on Theory of computing, pages 67-75, Las Vegas, Nevada, 1995.
2. D. Mayers. Unconditional security in quantum cryptography. J. ACM, 48(3):351-406, 2001.
3. D. Gottesman, H.-K. Lo, N. Lutkenhaus, and J. Preskill. Security of quantum key distribution with imperfect devices. Quantum Information and Computation, 5:325-360, 2004.
4. H. Inamori, N. Lutkenhaus, and D. Mayers. Unconditional security of practical quantum key distribution. European Physical Journal D, 41:599-627, Mar. 2007.
5. K. S. McCurley. The discrete logarithm problem. In Cryptology and Computational number theory, volume 42 of Proceedings of Symposia in Applied Mathematics, pages 49-74, Boulder, Colorado, 1989. AMS.

## ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

*В.А. Красикова, студентка группы 17Б20,  
научный руководитель: Березовская О.Б., ст. преподаватель  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Теория массового обслуживания (ТМО) – это один из разделов теории вероятностей. Основная цель теории – выбор оптимального варианта организации торгового обслуживания населения, который обеспечивает наименьшее время обслуживания при минимальных затратах и максимальном качестве обслуживания населения. Базой рассматриваемой теории является математическая статистика и теория вероятности.

Основой ТМО является теория потока однородных событий, которая была разработана советским математиком А. Я. Хинчиным в 1955 году.

Область применения ТМО широка, но наибольшее распространение она получила в розничной торговле для анализа количества обслуживаемых покупателей и продолжительности их обслуживания.

Предмет исследования ТМО – выявление взаимосвязи между эффективностью функционирования системы массового обслуживания (СМО) и факторами, определяющими ее функциональные возможности. Данные системы относятся к стохастическим, так как практически все параметры, описывающие СМО, являются функциями или случайными величинами.

Одним из компонентов рассматриваемой теории являются системы массового обслуживания (СМО). В СМО в любой случайный момент поступают заявки на обслуживание, поступившие заявки могут обслуживать с помощью имеющихся в распоряжении систем каналов.

По числу каналов обслуживания СМО подразделяют на одноканальные и многоканальные системы.

СМО подразделяются на два основных вида. Первый вид – это системы с отказами. Такими системами признано считать те, в которых заявка, поступившая в момент, когда ни один канал не является свободным, получает отказ и, следовательно, покидает очередь. Второй вид – это системы с ожиданием или очередью. В данных системах заявка, поступившая в момент, когда все каналы заняты, становится в очередь и ждет, пока не освободится один из каналов.

Рассмотрим самую простую одноканальную СМО с отказами. Она характеризуется показательным распределением длительностей интервалов между поступившими заявками.

Плотность распределения длительностей интервалов между заявками рассчитывается по формуле:

$$f_1(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}.$$

где  $\lambda$  - это интенсивность поступления заявок в систему. Плотность распределения длительностей обслуживания имеет вид:

$$f_2(t) = \mu \cdot e^{-\mu t}, \quad (1)$$

где  $\mu = \frac{1}{t_{об}}$  – интенсивность обслуживания,  $t_{об}$  – среднее время обслуживания одного клиента.

Относительная пропускная способность:

$$q = \frac{\mu}{\lambda + \mu}. \quad (2)$$

Для одноканальной СМО с отказами вероятность  $P_0$  есть не что иное, как относительная пропускная способность системы  $q$ :  $q = P_0$ . Величина вероятности равна тому, что канал не занят.

Абсолютная пропускная способность  $A$  - это среднее число заявок, которое может обслужить СМО в единицу времени:

$$A = \lambda \cdot q \quad (3)$$

Вероятность отказа находим по формуле:

$$P_{отк} = 1 - q \quad (4)$$

Вероятность отказа – отношение необслуженных заявок среди всех поданных.

Номинальная пропускная способность рассчитывается по формуле:

$$A_{ном} = \frac{1}{t}. \quad (5)$$

Отношение номинальной пропускной способности к фактической:

$$\frac{A_{ном}}{q} \quad (6)$$

**Пример.** Пусть одноканальная СМО с отказами представляет собой один пост ежедневного обслуживания для мойки автомобилей. Автомобиль, прибывший в момент, когда пост занят, получает отказ в обслуживании. Интенсивность потока автомобилей составляет 2,0 автомобиля в час. Средняя продолжительность обслуживания 1,5 часа. Найти относительную и абсолютную пропускную способность, вероятность отказа. Также необходимо провести сравнение фактической пропускной способности СМО с номинальной.

**Решение:**

Интенсивность потока обслуживания (1):

$$\mu = \frac{1}{t_{об}} = \frac{1}{1,5} = 0,667;$$

Относительная пропускная способность (2):

$$q = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{0,667}{2 + 0,667} = 0,25;$$

Следовательно, в установившемся режиме система может обслуживать примерно 25% прибывших на пост автомобилей.

Абсолютная пропускная способность (3):

$$A = \lambda \cdot q = 2 \cdot 0,25 = 0,5;$$

Значит, рассматриваемая система в среднем может обслужить 0,5 автомобилей в час.

Рассчитаем вероятность отказа (4):

$$P_{отк} = 1 - q = 1 - 0,25 = 0,75;$$

Следовательно, около 75% прибывших автомобилей получают отказ в обслуживании.

Номинальная пропускная способность (5):

$$A_{ном} = \frac{1}{t_{об}} = \frac{1}{1,5} = 0,667;$$

Отношение номинальной способности к фактической (6):

$$\frac{A_{ном}}{q} = \frac{0,667}{0,25} = 2,668.$$

Итак, номинальная пропускная способность в 2,67 раз больше фактической.

Рассмотренные аналитические методы анализа СМО исходят из предположения, что входящие и исходящие потоки требований являются простейшими. Зависимости, используемые в этих методах для определения показателей качества обслуживания, справедливы лишь для установившегося режима функционирования СМО. Однако в реальных условиях функционирования СМО имеются переходные режимы, а входящие и исходящие потоки требований являются далеко не простейшими. В этих условиях для оценки качества функционирования систем обслуживания широко используют метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). Основой решения задачи исследования функционирования СМО в реальных условиях является статистическое моделирование входящего потока требований и процесса их обслуживания (исходящего потока требований).

Литература.

1. Е. В. Бережная, В. И. Бережной. Математические методы моделирования экономических систем: Учеб. пособие. - М.: Финансы и статистика, 2010.
2. Чистяков В. П. Курс теории вероятностей. Учеб. – 3-е изд., испр. – М.: Наука, 2009.
3. Интернет-источник: <http://www.irbis.vegu.ru/repos/2612/HTML/15.HTM>.

**ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ В КАЧЕСТВЕ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВАНИИ  
КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА**

*А.А. Ласуков, к.т.н., доцент кафедры ТМС, С.Е. Лагунов, студент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: lasukow@rambler.ru*

В Юргинском технологическом институте проводится комплекс работ по созданию опытного образца геохода. При этом одной из наиболее важных проблем является постановка геохода на производство. Разработка и постановка на производство продукции является совокупностью мероприятий, конечной целью которых является выпуск конкурентоспособной промышленной продукции. В процессах постановки на производство новых видов промышленной продукции возникает проблема объективной оценки вариантов технологических решений на самых ранних стадиях технологической подготовки производства. Важность данной проблемы обусловлена тем, что 70% затрат в течение жизненного цикла продукции обуславливаются решениями, принятыми на ранних стадиях разработки изделия [1]. В случае геохода данный вопрос стоит особенно остро, поскольку геоход является принципиально новым видом горных машин и обладает выраженной технологической спецификой [2].

Исходя из технического и экономического принципа технологии машиностроения функция эффективности технологических процессов формулируется выражением:

$$E = \max \left\{ E_i \in \mathfrak{R} \mid E_i = \frac{1}{C_i(\mathbf{a})}, \text{ при } Q_i(\mathbf{a}) \geq [Q] \right\}, \quad (1)$$

где  $E_i$  – эффективность  $i$ -го варианта технологии изготовления;  $C_i$  – затраты по  $i$ -му варианту технологии изготовления;  $Q_i$  – качество продукции по  $i$ -му варианту технологии изготовления;  $[Q]$  – требуемый уровень качества продукции;  $\mathbf{a}$  – вектор параметров  $i$ -го варианта технологии изготовления. Т.е. при данной постановке эффективность выражается через величину, обратную затратам. При этом подразумевается, что все варианты технологических процессов обеспечивают выполнение технического принципа.

В случае если показатели качества являются существенным конкурентным преимуществом, то целевая функция эффективности формулируется аддитивным выражением (или аналогичным мультипликативным):

$$E = \max \left\{ E_i \in \mathfrak{R} \mid E_i = \frac{k_C}{C_i(\mathbf{a})} + k_Q Q_i(\mathbf{a}) \right\}, \quad (2)$$

где  $k_C$  – весовой коэффициент затрат в эффективности;  $k_Q$  – весовой коэффициент качества в эффективности.

Постановка задачи в виде (2) порождает проблему адекватного назначения весовых коэффициентов [3]. Чаще всего при отсутствии теоретических моделей весовые коэффициенты определяются опытным путем на основе процедур регрессионного анализа, либо других статистических методов.

На современном уровне развития технологии машиностроения наиболее адекватным способом оценки соответствия технологических процессов техническому принципу является статистический способ, основанный на теории вероятности и математической статистике и заключающийся в исследовании выборок изделий из партий деталей, изготовленных по исследуемому технологическому процессу. Чаще всего с данной целью используется анализ выборок по кривым распределения, а также точечные и точностные диаграммы. Т.е. данный анализ производится не на этапе проектирования технологических процессов, а по факту их реализации. На этапе проектирования качество устанавливается в нормативном порядке в соответствии с подходами, аналогичными приведенным в работе [4] с использованием моделей аналогичных [5].

Анализ приведенных выражений показывает, что технические показатели эффективности и экономические показатели эффективности могут оцениваться независимо. Таким образом, учитывая достаточность выполнения для технического уровня условия:

$$Q_i(\mathbf{a}) \geq [Q], \quad (3)$$

оценку эффективности можно проводить на основе оценки затрат. При этом должно подразумеваться безусловное выполнение условия (3), например, путем создания и анализа моделей точности изделий [6].

Поскольку величины экономических критериев эффективности (себестоимость и качество) на ранних стадиях проектирования технологий являются неизвестными, возникает задача прогнозирования эффективности технологических решений на основе количественных характеристик технологий. На основании этого сформулирована задача установить наличие связей между объективными показателями эффективности (себестоимость или затраты) и количественными показателями технологических процессов. Для установления связей предлагается использовать аппарат корреляционного анализа. В качестве исходных данных при использовании технологических процессов, разработанные на системы и узлы геохода ФЮРА.612322.401.0.00.00.000 с литерой «О» и соответствующие экономические расчеты.

На основании анализа разработанных на изделия геохода технологических процессов были отобраны следующие количественные показатели: трудоемкость, коэффициент использования материала, среднее значение степени механизации, средний разряд работающих, количество единиц средств технологического оснащения, среднее значение условий труда, количество работающих, количество операций в технологическом процессе. Корреляционный анализ проводился на выборке из 13 технологических процессов механической обработки изделий геохода. Использовался парный коэффициент корреляции Пирсона [7].

На основе анализа установлено, что на уровне значимости  $\alpha = 0,001$  существует связь между удельной трудоемкостью технологических процессов и удельной себестоимостью, а также связь между коэффициентом использования материала и удельной себестоимостью. Связь с себестоимостью прочих количественных показателей технологических процессов не установлена. Результаты корреляционного анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа

Наименование величины	Обозначение и/или формула	Наименование показателя						
		Удельная трудоемкость, мин/кг	КИМ	Количество операций	Количество работающих	Средний разряд работ	Средняя степень механизации	Количество СТО
Выборочное среднее значение показателя	$\bar{x}$	1,912	0,824	4,29	4,643	3,436	3,180	22,9 29
Выборочное среднее значение удельной себестоимости (руб/кг)	$\bar{y}$	12,391						
Сумма дисперсий показателя	$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	28,34	0,20	82,86	65,21	5,98	10,42	1454,9
Сумма дисперсий критерия	$D_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	6363,59						
Парный коэффициент корреляции Пирсона	$r_p = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{D_x D_y}$	0,992	- 0,78 5	-0,368	-0,321	0,308	-0,277	0,073
Объем выборки	$n$	13						
Уровень значимости	$\alpha$	0,001						
Критическое значение коэффициента корреляции при уровне значимости $\alpha$	$[r_p]$	0,760						

Как следует из рис. 1а прослеживается выраженная связь между трудоемкостью технологических процессов и удельной себестоимостью, имеющая характер, близкий к линейному. При этом величина достоверности линейной аппроксимации составляет  $R^2 \approx 0,9831$ , что свидетельствует о весьма высокой силе связи по шкале Чеддока. Аналогично прослеживается выраженная связь между коэффициентом использования материала и удельной себестоимостью, имеющая характер, близкий к линейному (рис. 1б). При этом величина достоверности линейной аппроксимации составляет  $R^2 \approx 0,6157$ , что свидетельствует о заметной силе связи по шкале Чеддока.

На основании выполненного анализа можно утверждать, что непосредственное влияние на экономическую эффективность оказывают такие свойства технологических процессов, как трудоемкость и коэффициент использования материала. Полученные зависимости между затратами и показателями трудоемкости и коэффициента использования материала носят выраженный линейный характер и могут быть использованы в качестве критериев эффективности тех или иных технологических решений. Практическая ценность данных критериев заключается в том, что их значения могут быть установлены на этапе проектирования технологических процессов до выполнения экономических расчетов.

Предложенные критерии эффективности имеют ряд ограничений по области своего применения. Критерии могут использоваться лишь для сравнительной оценки различных вариантов технологических процессов на одно и то же изделие при условии эквивалентности достигаемого технического эффекта и состояния заготовки или изделия до и после реализации технологического процесса.

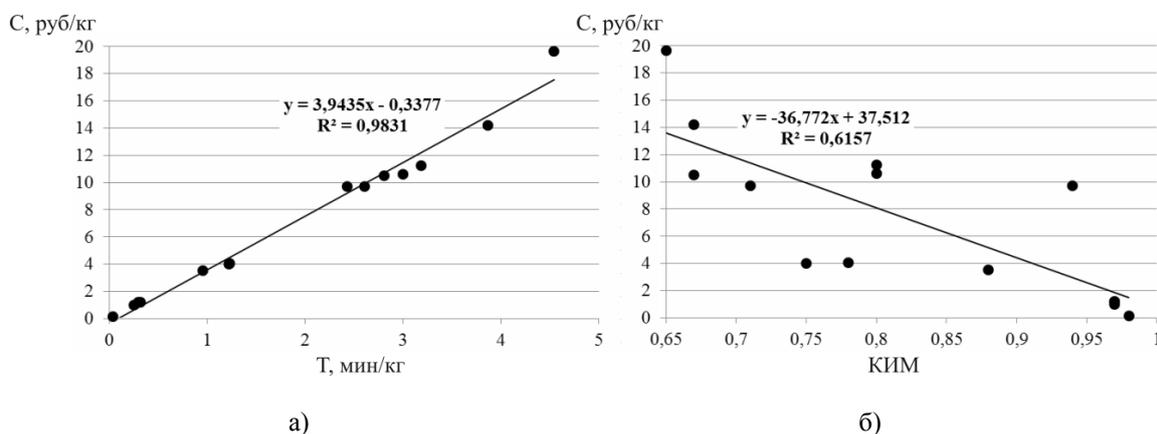


Рис. 1. Графики зависимостей удельной себестоимости от: а) удельной трудоемкости; б) от коэффициента использования материала

#### Литература.

1. Asiedu Y., Gu P. Product life cycle cost analysis: State of the art review // International Journal of Production Research. – 1998. – Vol. 36., Iss. 4. – P. 883-908.
2. Аксенов В.В., Вальтер А.В. Специфика геохода как предмета производства // Научное обозрение. – 2014. – № 8, Ч. 3. – С. 945-950.
3. Брусков В.С., Одноволик Ю.В. Пример оценки решений в условиях нескольких критериев эффективности // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2013. – № 188. – С. 15-18.
4. Павлова А.А., Чернышенко А.В. Нормативное обеспечение технологии и качества сборки и его использование // Сборник научных трудов «Вестник НТУ ХПИ» Машиностроение і САПР №33. – Харьков, 2006. – С. 88-95.
5. Вальтер А.В., Аксенов В.В. Определение отклонений геометрической формы оболочек корпусных изделий геохода // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов Международной научно-практической конференции/ Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 165-170.
6. Аксенов В.В., Вальтер А.В., Бегляков В.Ю. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода // Обработка металлов (Технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 4 (65). – С. 19-28.
7. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАЗОВ МЕХАНИЗМА РЕВЕРСА ГЕОХОДА

*Д.А. Михеев, студент группы 10790,  
научный руководитель: Дронов А.А., ассистент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: Miheev-den91@yandex.ru*

Узел сопряжения секций геохода (УСС) обеспечивает сцепление секций, вовлекая в поступательное перемещение вслед за головной стабилизирующую секцию, не передавая ей при этом вращательного движения от головной секции. Реверсивный режим является важной функцией в геоходе [1, 7, 8].

Исходная конструкция механизма реверса представлена на рис. 1.

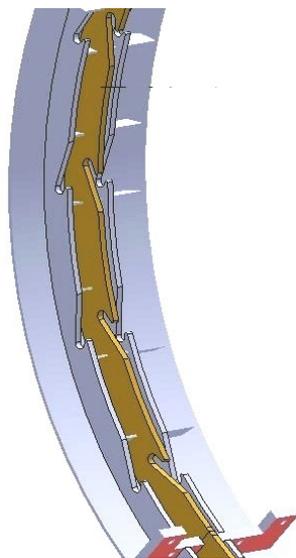


Рис. 1. Исходная конструкция механизма реверса

Основным недостатком этой конструкции является длительное время, затрачиваемое на дополнительные операции по обеспечению реверса [4, 5, 6].

Поэтому на основе исходной конструкции нами было предложено новое конструктивное решение механизма реверса геохода, представленное на рис. 2.

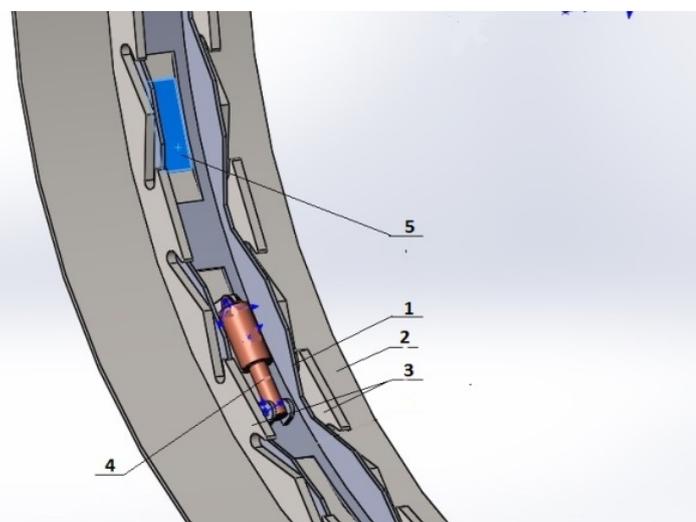


Рис. 2. Новый механизм реверса геохода

Конструкция состоит из: реверсивного кольца 1 (состоящего из 4 секторов), наружного кольца 2 (состоящего из 4 секторов) на внутренней цилиндрической поверхности которого закреплены венцы с обратными направленными пазми 3, и ограничитель 5, гидроцилиндра реверса 4 [2, 3].

В ходе проверки геометрических параметров обратных направленных пазов было установлено, что их конструкция не позволяет гидроцилиндрам хода войти в зацепление (рис. 3).

Следовательно, необходимо уточнить форму и количество пазов на венцах.

Для определения формы, шага установки и оптимального количества пазов была построена схема работы гидроцилиндров (рис. 4).

На основе схемы работы гидроцилиндров, представленной на рис. 4 была выведена формула для определения количества пазов на венцах.

Количество пазов находим по формуле:

$$N = \frac{360}{P}, \quad (1.1)$$

где  $N$  – количество пазов, шт.;  $P$  – шаг установки пазов, град.

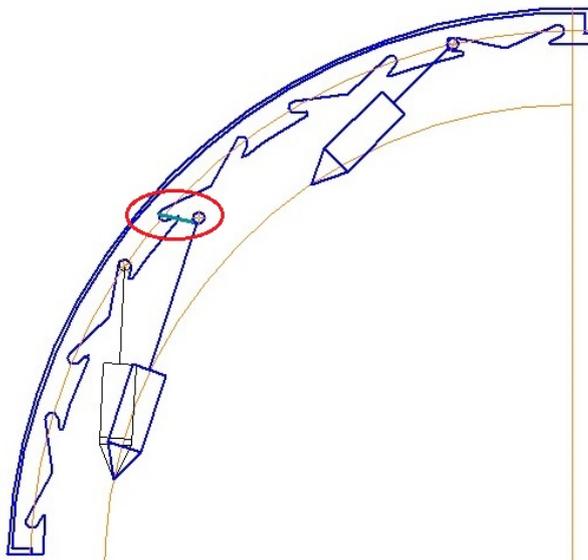


Рис. 3. Проверка геометрических параметров

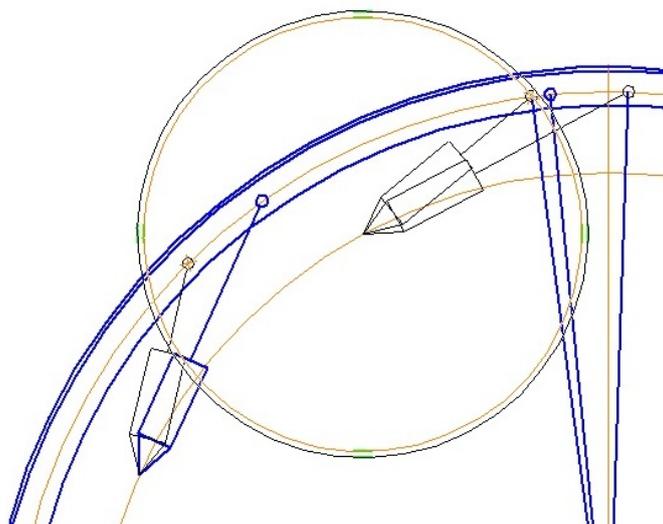


Рис. 4. Схема работы гидроцилиндров

Для нахождения минимального шага установки пазов воспользуемся формулой нахождения длины дуги [9]:

$$l = \frac{P_{\min} \cdot \pi \cdot d_{\text{уст. ум.}}}{360}, \text{ мм} \quad (1.2)$$

где  $l$  – длина дуги между штоками в исходном и конечном состоянии, мм;  $P_{\min}$  – минимальный шаг установки пазов, град.;  $d_{\text{уст. ум.}}$  – диаметр установки штока ГЦ, мм.

Длину дуги  $l$  определяем графически, с помощью измерительного инструмента, рис. 5.

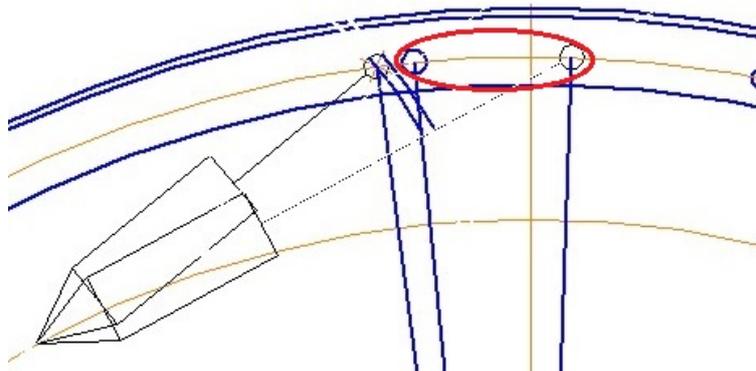


Рис. 5. Нахождение длины дуги

Длина дуги  $l = 196$  мм. Зная длину дуги  $l$ , определим из формулы (1.2) минимальный шаг установки пазов  $P_{\min}$ :

$$P_{\min} = 2 \cdot l \cdot \frac{360}{\pi \cdot d_{\text{уст. ум.}}}, \text{ град.} \quad (1.3)$$

где  $P_{\min}$  – минимальный шаг установки пазов, град.;  $l$  – длина дуги между штоками в исходном и конечном состоянии, мм ( $l = 196$  мм);  $d_{\text{уст. ум.}}$  – диаметр установки штоков ГЦ, мм ( $d_{\text{уст. ум.}} = 3074$  мм).

$$P_{\min} \geq 2 \cdot 196 \cdot \frac{360}{3,14 \cdot 3074} \geq 14,62^\circ$$

Количество пазов на весь узел сопряжения равно:

$$N_{\text{уз}} = \frac{360^\circ}{14,62^\circ} = 24,62 \text{ шт}$$

Округляем количество пазов до четного числа  $N_{\text{уз}} = 24$  шт.

Проверка шага установки пазов:

$$P = \frac{360}{N_{\text{уз}}}, \text{ град.} \quad (1.4)$$

где  $N_{\text{уз}}$  – принятое количество пазов, шт. ( $N = 24$  шт.)

$$P = \frac{360}{24} = 15^\circ$$

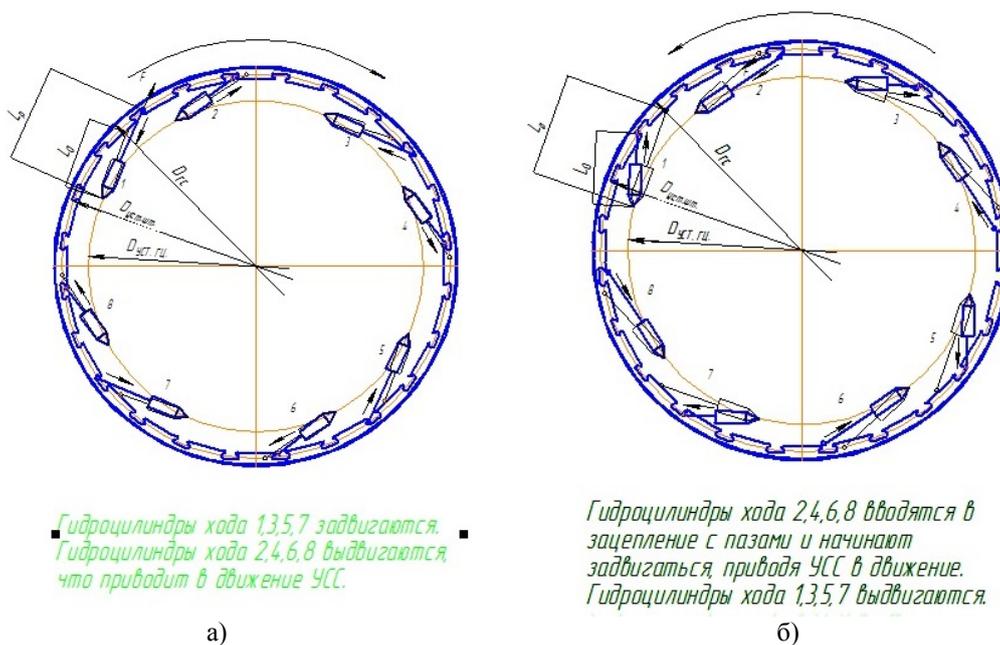
$$P \geq P_{\min} \quad (1.5)$$

$$15^\circ \geq 14,62^\circ, \text{ удовлетворяет условие (1.5)}$$

Количество пазов на один сектор равно:

$$N_{\text{с}} = \frac{24}{4} = 6 \text{ шт}$$

На рис. 6 представлена схема работы УСС.



а) б)  
Рис. 6. Схема работы узла сопряжения секций геохода:  
а) прямое направление; б) обратное направление

Вывод: в ходе исследования геометрических параметров обратных пазов было установлено, что необходимо изменить их форму и количество. На основе построения схемы работы гидроцилиндров была выведена формула нахождения количества и шага установки пазов. На рис. 6 представлена схема работы УСС, исходя из которой видно, что новая форма и количество пазов обеспечивают зацепление гидроцилиндров в разных фазах и оптимальную работу узла сопряжения секций геохода.

Литература.

1. Аксенов В. В., Ефременков А. Б. Геовинчестерная технология и геоходы - наукоемкий и инновационный подход к освоению недр и формированию подземного пространства // Уголь/ Москва, 2009– №2. С.26-29.
2. Дронов А. А., Блащук М. Ю. Обоснование необходимости разработки узла сопряжения секций геоходов // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы / Томск, 2013 - Т. 2 - С. 313-314.
3. Блащук М.Ю., Дронов А.А. Обзор опорно-поворотных устройств горной и строительной техники в целях создания узла сопряжения секций геохода // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: труды XV Международной научно-практической конференции. – Кемерово: «Экспо-Сибирь», 2013 - С. 97-100.
4. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Блащук М. Ю., Тимофеев В. Ю., Михеев Д. А. Схемные решения трансмиссии геохода с гидроприводом // Вестник КузГТУ / Кемерово, 2013– № 4. С. 51-57.
5. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Нестеров В.И., Блащук М.Ю. Силовые параметры трансмиссии геохода с гидроприводом // Вестник КузГТУ / Кемерово, 2012– № 4. С. 21-24.
6. Аксенов В.В., Ефременков А. Б., Тимофеев В.Ю., Блащук М.Ю. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. Т. 3. № 12 С. 55-66.
7. Аксенов В.В., Тимофеев В.Ю., Блащук М.Ю. Разработка схемного решения привода геохода с волновой передачей с промежуточными телами качения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) / Кемерово, 2012– № S3. С. 167-175.
8. Блащук М. Ю. , Дронов А. А. , Михеев Д. А. Особенности работы и требования к узлу сопряжения секций геохода // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: труды XVI Международной научно-практической конференции. – Кемерово: «Экспо-Сибирь», 2014 - С. 104-106.
9. <http://www.fxuz.ru/> Интерактивный справочник формул.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАВОДНЕНИЙ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

*А.В. Наливкина, студент группы 17Г20,  
научный руководитель: Березовская О.Б., ст. преподаватель  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Сегодня, в век технического прогресса, развития науки и технологи в мире происходит множество различного рода аварий, катастроф, связанных с гибелью людей, с разрушением материальных ценностей, с возникновением серьезных нарушений экологии и т.д.

Все более актуальной становится тема чрезвычайных ситуаций природного характера. Число наводнение, землетрясений, извержений вулканов увеличивается с каждым годом, в них погибает все большее количество людей.

Наводнением называют затопление водой значительной местности в результате подъема уровня воды в реке, водохранилище, озере или море, вызванное обильным притоком воды в период снеготаяния или ливней, "ветровых" нагонов, при заторах, зажорах, прорывах плотин. В зависимости от причин возникновения различаются основные типы наводнений. Половодье - периодически повторяющийся относительно продолжительный подъем уровня воды в реках, вызываемый обычно весенним таянием снега на равнинах или дождевыми осадками, а также весенне-летним таянием снега в горах; его следствием является затопление низких участков местности. Паводок - интенсивный периодический, сравнительно кратковременный подъем уровня воды в реке, вызываемый обильными дождями, ливнями, иногда быстрым таянием снега при зимних оттепелях. Затвор - нагромождение льдин во время весеннего ледохода в сужениях и излучинах русла реки, стесняющее течение и вызывающее подъем уровня воды в месте скопления льда и некоторых участках выше него. Зажор - скопление рыхлого ледового материала во время ледостава (в начале зимы) в сужениях и излучинах русла реки, вызывающее подъем уровня воды на некоторых участках выше него. Ветровой нагон - подъем уровня воды, вызванный воздействием ветра на водную поверхность, случающийся обычно в морских устьях крупных рек, а также на наветренном берегу больших озер, водохранилищ и морей.

Прогнозирование наводнений – это один из видов гидрологических прогнозов. В зависимости от времени упреждения гидрометеорологические прогнозы разделяются на краткосрочные (менее 12–15 дней) и долгосрочные (с большей заблаговременностью).

Методы краткосрочного прогнозирования базируются на использовании закономерностей движения воды в руслах и закономерностей притока (стока) воды к рассматриваемым участкам этих русел, на расчетах перемещения и трансформации водного потока по отдельным участкам реки. В результате таких прогнозов выдается информация об ожидаемых максимальных расходах и уровнях воды в интересующих створах. Исходными данными при этом являются гидрографы (зависимости расходов воды от времени).

Долгосрочные гидрологические прогнозы применяются, как правило, для предсказания масштабов действия наводнения. Методики долгосрочного прогнозирования максимальных расходов (уровней) воды в рассматриваемых пунктах за период половодья базируются на зависимости между величиной расхода и стоком в половодье, которые устанавливаются для каждого пункта по материалам многолетних гидрометрических наблюдений. Результаты прогнозных расчетов весеннего половодья на территории страны в начале каждого года Гидрометцентр выдает пользователям в виде карт, на которых изолиниями обозначены бассейны с различными значениями возможных максимальных превышений (или снижений) уровня воды относительно среднего многолетнего уровня. Для каждого населенного пункта, попадающего в зону действия наводнения, в соответствующем территориальном органе Госкомгидромета имеются каталоги опасных отметок уровней (расходов) воды, так называемых критических уровней воды. Критический (опасный) уровень – это уровень воды по ближайшему гидрологическому посту, с превышения которого начинается затопление данного населенного пункта. При этом может быть несколько значений критического уровня, характеризующих последовательность затопления города по мере повышения уровня воды в реке.

Таким образом, методика прогнозирования наводнений заключается в следующем:

1. По прогноз картам устанавливается максимально возможное ожидаемое превышение уровня воды в реке для данного пункта.

2. Величина превышения суммируется с соответствующей величиной среднего многолетнего уровня воды в реке для данного пункта, которые также имеются в органе Госкомгидромета.

3. Сравнивая полученную величину отметки с величиной критического уровня, получаем информацию о той или иной возможной степени затопления интересующих пунктов.

Внедрение беспроводных сетей мониторинга уровня рек позволяет существенно сократить ущерб от наводнений, предотвратить человеческие жертвы, обезопасить движение транспорта и уменьшить последствия для сельского хозяйства.

Своевременное прогнозирование возможного наводнения позволяет для более продуктивного использования осуществить отвод и накопление воды в период сильных дождей.

Задача прогнозирования наводнений, решается либо непосредственным наблюдением за уровнем осадков и рек, либо с использованием информации со спутников. Однако, часто эти методы оказываются малоэффективными. В случае непосредственного наблюдения необходимо находится вблизи реки, что практически невозможно сделать в малолюдных и труднопроходимых районах. В случае применения спутников не все районы могут быть охвачены мониторингом состояния в реальном масштабе времени. Беспроводные сети позволяют контролировать уровни воды и погодных условий.

Мониторинг уровня воды и погодных условий позволяет оперативно определить области повышенного риска затопления. Это может быть сделано заблаговременно до затопления путем измерения уровня осадков в период дождей и уровня рек.

Эти данные могут помочь городским и сельским властям определить приоритеты развития надежной системы дренажа в зонах риска.

Во время сильных дождей, такие датчики могут контролировать зоны, в которых наиболее вероятны наводнения и автоматически генерировать необходимые решения, чтобы минимизировать последствия. С помощью данных устройств можно автоматически включать инфраструктуру отвода ливневых вод, так чтобы вода собиралась и направлялась вдоль предпочтительного пути, который предотвращает ее накопление. В зонах повышенной опасности наводнения, устройства сети могут быть запрограммированы для обеспечения своевременного оповещения об эвакуации населения в угрожаемых районах.

Самым эффективным способом защиты от наводнений является эвакуация. Перед эвакуацией для сохранности своего дома следует отключить воду, газ, электричество, потушить горящие печи отопления, перенести на верхние этажи (чердаки) ценные вещи, закрыть окна первых этажей досками и фанерой, взять запас продуктов, медикаменты, документы и убыть по указанному маршруту.

#### Пример защиты населения в зонах катастрофического затопления и наводнения.

Основным способом защиты населения в зонах катастрофического затопления является эвакуация всего населения из этой зоны в угрожаемый период. Эвакуация населения должна проводиться в короткие сроки при минимальном количестве затрат.

Исходные данные:

Численность эвакуируемого населения - 12 тыс. чел.

Количество населения, эвакуируемого автомобильным транспортом ( $\theta_1$ ) - 1050 чел.

Количество населения, эвакуируемого железнодорожным транспортом ( $\theta_2$ ) - 4000 чел.

Протяженность маршрутов эвакуации: автотранспортом ( $S_2$ ) - 70 км, железнодорожным транспортом ( $S_3$ ) - 120 км.  $S_1$  - расстояние от центра города до границы ЗКЗ-20км.

$V_1$  - скорость движения пешим порядком-4км/ч.  $V_2$  - скорость движения автотранспорта-25 км/ч.  $V_3$  - скорость движения железнодорожного транспорта-75км/ч.

Решение:

1. Определяем среднюю провозную способность автомобильного и железнодорожного транспорта:

$$q_2 = \frac{\theta_1 V_2}{2S_2} = \frac{1050 \cdot 25}{140} = 188 \text{ чел/ч.}$$

$$q_3 = \frac{\theta_2 V_3}{2S_3} = \frac{4000 \cdot 75}{240} = 250 \text{ чел/ч.}$$

2. Определяем количество населения, вывозимого автотранспортом и железнодорожным транспортом.

Автотранспортом:

$$N_2 = q_2 \frac{S_1 q_2}{V_1} - \frac{S_2 q_2}{V_2} = 188 + \frac{20 \cdot 188}{4} - \frac{70 \cdot 188}{25} = 602 \text{ чел.}$$

Железнодорожным транспортом:

$$N_3 = q_3 + \frac{S_1 q_3}{V_1} - \frac{S_3 q_3}{V_3} = 1250 + \frac{20 \cdot 1250}{4} - \frac{120 \cdot 1250}{75} = 5500 \text{ чел.}$$

Далее суммируем количество эвакуируемых автомобильным и железнодорожным транспортом:

$$N_{mp} = N_2 + N_3 = 602 + 5500 = 6102 \text{ чел.}$$

Считаем, что количество населения для пешей эвакуации равно

$$N_{п} = N_3 - N_2 - N_3 = 12000 - 602 - 5500 = 5898 \text{ чел.}$$

Для данного случая количество эвакуированного населения автомобильным и железнодорожным транспортом не превышает общего количества эвакуируемых. Значит, целесообразно проводить и пешую эвакуацию.

Литература.

1. ru.wikipedia.org
2. http://www.bibliofond.ru
3. http://studme.org

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ФИНАНСОВЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ОПЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ

*М.Э. Фатьянова, магистр, М.Е. Семенов, к.ф.-м.н., доц.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822) 60-63-33*

*E-mail: mefl@tpu.ru*

Математическое моделирование комбинаций финансовых инструментов с различным уровнем риска предоставляют инвестору возможность эффективного управления капиталом с потенциальной доходностью выше банковского депозита. Использование в таких комбинациях опционных стратегий – самых сложных финансовых инструментов, дает серьезное преимущество получения неограниченного дохода [1].

Предлагаемая работа отражает результаты исследования конструирования структурированных финансовых решений (структурных продуктов) с использованием различных видов опционных стратегий. Рассмотрены комбинации европейских опционов продажи («put») и покупки («call») на различных базовых активах, которые подбирались на основе проведенного фундаментального анализа.

Комбинирование различных финансовых инструментов в структуре таких продуктов дает неограниченные возможности для создания самых разнообразных типов СП любой степени сложности, исходя из целей и намерений инвестора и компании или банка, разрабатывающего и выпускающего такой продукт [2].

Структурированный (структурный) финансовый продукт – это готовая индивидуально для клиента инвестиционная стратегия, основанная на сочетании безрисковых активов с производными финансовыми инструментами. Структурный продукт занимает промежуточное положение между консервативным размещением средств и рискованным инвестированием. Это достигается за счет того, что большая часть инвестированных средств вкладывается в депозиты или облигации и работает на возврат капитала. На остаток приобретаются опционы, которые при удачном стечении обстоятельств могут принести прибыль, намного превышающую ставку банковского депозита [1-2].

Гибкость опциона заключается в том, что его свойства позволяют смоделировать функцию дохода, т.е. стоимость, которую пользователь продукта получит при его погашении в зависимости от поведения базового актива, лежащего в основе опциона [3-4]. Доля рискованных ценных бумаг в СП в большинстве случаев составляет от 2% до 20%. Часто вызывает удивление тот факт, что опционная часть, занимая не очень значительную долю в продукте (например, 10%), способна генерировать значительную доходность. Это связано с эффектом рычага, который обеспечивает опцион.

В данной работе также был использован модуль опционной аналитики торговой платформы *Quik*. Программа предназначена для анализа стратегий, предусматривающих одновременное открытие позиций по опционам одной серии и базовому активу (рис. 1). Модуль рассчитывает все необходимые показатели по совокупной позиции и выполняет функции стандартного опционного калькулятора. Кроме этого, возможен графический анализ сложной опционной позиции с точки зрения ее прибыльности в зависимости от цены базового актива, количества дней до исполнения или волатильности. Изменяя параметры модели (волатильность, дату расчетов), можно рассматривать различные сценарии развития ситуации. В модуле возможна загрузка выбранной стратегии из шаблона и ее параметризация выбранными инструментами и их текущими рыночными параметрами [5].

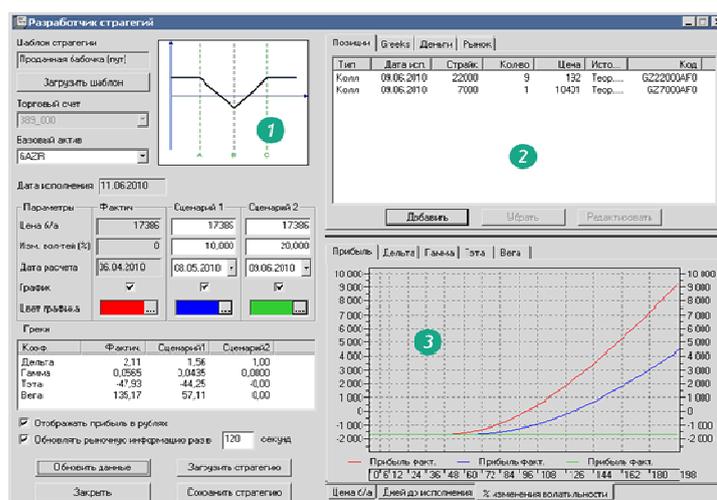


Рис. 1. Окно «Разработчик стратегий»

Окно «Разработчик стратегий» состоит из трех секций: 1) панель параметров – предназначена для загрузки шаблона и ввода сценариев развития событий; 2) панель ввода стратегии – предназначена для ввода позиций, по которым будет производиться расчет; 3) окно графиков – предназначено для графического отображения результата ввода стратегии [5].

Конструирование структурированного финансового продукта можно проводить с использованием самых разнообразных стратегий. В данной работе мы рассмотрим наиболее часто встречаемые (табл. 1) [3-4].

Таблица 1

Наиболее часто встречаемые опционные стратегии

Стратегия	Назначение	График стратегии
Лонг колл	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива и его волатильность повысятся. Прибыль неограниченна, убыток ограничен премией уплаченной за опцион.	
Шорт колл	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива и его волатильность понизятся. Прибыль ограничена премией полученной за опцион, убыток неограничен.	
Лонг пут	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива понизится, а его волатильность повысится. Прибыль неограниченна, убыток ограничен премией уплаченной за опцион.	

Стратегия	Назначение	График стратегии
Шорт пут	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива повысится, а его волатильность понизится. Прибыль ограничена премией, уплаченной за опцион, убыток неограничен.	
Бычий колл спрэд	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива повысится, но повысится умеренно. Прибыль равна: $s(B) - s(A) - p(A) + p(B)$ ; убыток равен: $p(A) - p(B)$ , где $s$ – страйк, $p$ – цена опциона, $A$ и $B$ – точки покупки/продажи опционов.	
Бычий пут спрэд	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива повысится, но повысится умеренно. Прибыль равна: $s(B) - s(A) - p(B) + p(A)$ ; убыток равен: $p(B) - p(A)$ , где $s$ – страйк, $p$ – цена опциона, $A$ и $B$ – точки покупки/продажи опционов.	
Медвежий колл спрэд	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива понизится, но понизится умеренно. Прибыль равна: $p(A) - p(B)$ ; убыток равен: $s(B) - s(A) - p(A) + p(B)$ , где $s$ – страйк, $p$ – цена опциона, $A$ и $B$ – точки покупки/продажи опционов.	
Медвежий пут спрэд	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива понизится, но понизится умеренно. Прибыль равна: $s(B) - s(A) - p(B) + p(A)$ , Убыток равен: $p(B) - p(A)$ , где $s$ – страйк, $p$ – цена опциона, $A$ и $B$ – точки покупки/продажи опционов	

Стратегия	Назначение	График стратегии
Обратный колл спрэд	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива изменится, волатильность повысится. Данная стратегия позволяет: получить прибыль, если цена базового актива вырастет; получить небольшую прибыль, если цена упадет; ограничить потери, если цена останется неизменной. Прибыль неограничена в случае значительного роста цены базового актива. Убыток ограничен ценой уплаченной за купленные опционы	
Обратный пут спрэд	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива изменится, волатильность повысится. Данная стратегия позволяет: получить прибыль, если цена базового актива упадет, получить небольшую прибыль, если цена вырастет ограничить потери, если цена останется неизменной. Прибыль неограничена в случае значительного падения цены базового актива. Убыток ограничен ценой уплаченной за купленные опционы	
Купленный стрэдл	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива изменится в ту или иную сторону, а волатильность повысится.	
Проданный стрэдл	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива не изменится, а волатильность понизится.	
Купленный стрэнгл	Стратегия используется, если ожидается, что цена базового актива не изменится, а волатильность повысится.	

Таким образом, в данной работе было проведено моделирование структурированных финансовых продуктов с использованием описанных выше опционных стратегий. Результаты математических расчетов были апробированы в торговой платформе Quik опционного аналитика.

Литература.

1. Фатьянова М.Э, Семенов М.Е. Структурированный инвестиционный продукт как оптимальное соотношение риска и доходности [Электронный ресурс] URL: [http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf\\_2013.pdf](http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf_2013.pdf).
2. Сундукова О.А. Понятие и сущность структурных финансовых продуктов // Теория и практика общественного развития. – 2012. – № 11.– с. 328-330.
3. Буренин А.Н. Форварды, фьючерсы, опционы, экзотические производные. – М.: НТО, 2008. – 512 с.
4. Вайн С. Опционы: Полный курс для профессионалов. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 466 с.
5. Программный комплекс Quik [Электронный ресурс] URL: <http://quik.ru>.

**ЗНАЧЕНИЕ МАТЕМАТИКИ В СПОРТЕ**

*Е.С. Терентьев, И.А. Семеренко, студенты группы 17Б41,  
научный руководитель: Березовская О.Б., ст. преподаватель  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: Gakonya5190@mail.ru*

Целью данной исследовательской работы является:

1. определение значения математики в различных видах спорта;
2. выявление закономерности между этими двумя видами деятельности;

Методами данной исследований являются:

1. изучение литературы и интернет ресурсов;
2. соц.опросы;
3. собственные исследования и анализы.

Числа играют важную роль в жизни и спорте, и отрицать их влияние невозможно. Спорт и числа тесно связаны.

В спорте, как и в любой деятельности можно найти значение математики. Будь то баскетбол или шахматы. Каждый из разделов этой науки:

- прикладная математика;
- закономерности;
- вычисления;
- геометрические знания;
- составление алгоритмов;
- нумерология.

Так или иначе задействован в любом виде спорт и жизни спортсменов.

Один из разделов, «прикладная математика», изучает «реальные» математические структуры, существующие независимо от открывших их математиков. В этом разделе с помощью математических моделей могут быть решены практические задачи.

Раздел «исследование операций» занимается моделями, цель которых обосновать принятие в данной ситуации того или иного из возможных решений. «Прикладная математика» объясняет многие последовательности и закономерности в спорте.

*Тяжелая атлетика.*

В этом виде спорта крайне важны арифметические расчеты для определения веса снаряда, распределения калорийности пищи.

*Математика и Шахматы.*

Выдающийся математик Г. Харди, заметил, решение шахматных проблем во время игры – математическое упражнение, а сама игра – это как бы совокупность математических решений. Не случайно математики часто бывают способными шахматистами.

*Математика и баскетбол.*

Без геометрических знаний сложно будет обойтись в спорте. Эти выводы легко сделать на примере баскетбола, футбола или хоккея.

При броске участвует три фактора: углы, толчок и положение рук. Следует применять большой угол при обычном броске внутри штрафной площадки. Чем угол меньше, тем локоть должен быть ближе к лицу, чтобы мяч шел по прямой линии

Мяч, как полусфера, согласно Ньютону будет иметь обратное действие в зависимости от силы, которую мы применили к нему. Также при ведении мяча нужно приложить определенное количество силы.

*Математика и спринтерские качества.*

Используя математическую модель ноги, ученые показали, что количество запасаемой энергии в первую очередь зависит от расстояния от лодыжки до сухожилия. Чем оно меньше, тем меньше энергии требуется спортсмену для того, чтобы бежать с той же скоростью.

Чтобы подтверждения были изучены физические характеристики 15 профессиональных бегунов. Результаты показали, что чем меньше была "пятка" бегуна, тем меньше кислорода его организм поглощал во время эксперимента, при беге на беговой дорожке со скоростью 16 км/ч. То есть, эти спортсмены более эффективно использовали энергию.

В спорте невозможно обойтись и без составления алгоритмов. Любой спортсмен для себя знает, как важно уметь их составлять и следовать им. Дабы добиться своей цели необходимо научиться следовать выстроенным действиям.

Алгоритму можно дать четкое определение – точное предписание исполнителю совершить определенную последовательность действий для достижения поставленной цели. Спортсмены отмечают, что каждому из них необходимо выстраивать алгоритм действий. Как в математике очень важно знать определённые правила для составления алгоритма. Спортсмены, которые занимаются конкретным видом спорта отмечают, что знания математики помогают им:

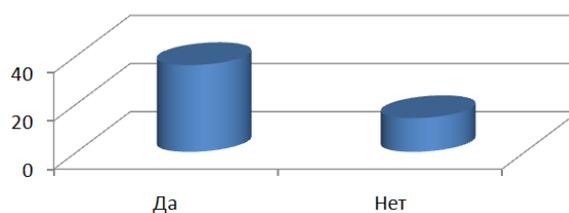
- во-первых, в построении тактики;
- во-вторых, при расчёте физической нагрузки.

Я составил алгоритм действий для некоторых видов спорта. Ведь в каждом виде спорта необходимо составление алгоритма. Например, для единоборств он может быть таким:

- психологическая подготовка;
- наблюдение за противником;
- расчет наиболее оптимальных и правильных удара;
- расчет правильного положения и тактика боя.

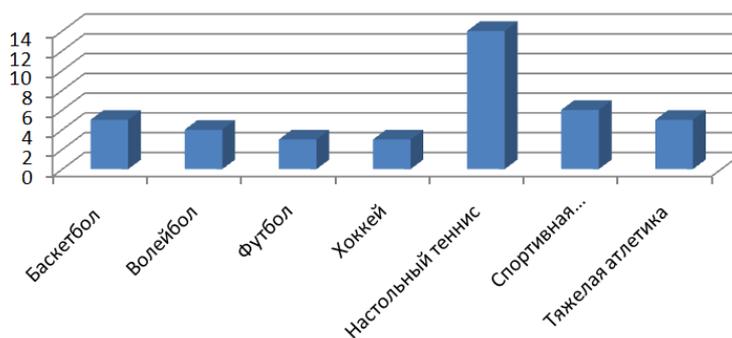
Чтобы узнать мнение окружающих о значении математики в спорте, я провел несколько соц. опросов, в которых приняли участие учащиеся вузов и школ в возрасте от 15 до 23 лет. Первым опросом был: «Нужна ли математика в спорте?» В данном опросе приняли участие 40 человек. Данные поэтому опросы представлены на гистограмме.

**Нужна ли математика в спорте?**

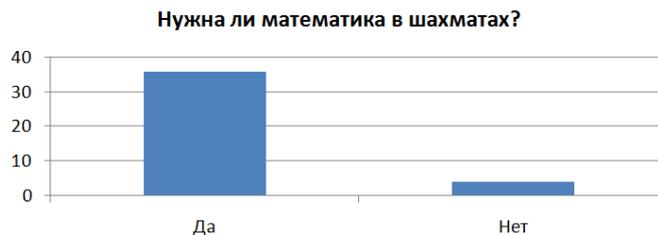


Вторым опросом стал: «В каких видах спорта больше всего нужна математика?». В этом опросе приняли участие 50 человек. Данные по этому опросу тоже представлены в виде гистограммы.

**В каком виде спорта больше всего нужна математика?**

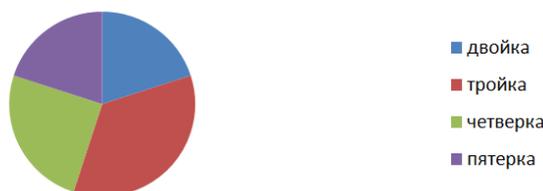


Третьим опросом был: «Нужна ли математика в шахматах»? В этом опросе приняли участие 40 человек. Данные по этому опросу, также, для наглядности, представлены на гистограмме.



Еще одним моим исследованием стало выявление влияния спорта на математические результаты спортсменов, которые обучаются. В этом опросе приняли участие 20 человек в возрасте от 16 до 20 лет, которые занимаются спортом. Данные были взяты у преподавателей. Что из этого вышло, можно увидеть на гистограмме.

**Какая у вас оценка по математике?**



Таким образом, исходя из проведенных исследовательской работ и социальных опросов, я могу сделать однозначные выводы:

- числа играют важную роль в жизни и спорте, и отрицать их влияние невозможно;
- спорт и числа тесно связаны;
- математика нужна в шахматах;
- занятия спортом либо в очень малой степени, либо вообще не влияют на оценки по математике.

Литература.

1. Математика в спорте// Электронный ресурс: режим доступа: <http://www.princetennis.ru/tennis01/matematika-v-sporte.php>.
2. Садовский Л.Е., Садовский А.Л. Математика и спорт/ М.: Наука, 2011 – 192с.
3. Математика и спорт// Электронный ресурс: режим доступа: <http://www.authorstream.com/Presentation/sasho4ek369-1338868/>
4. Математика и спорт// Электронный ресурс: режим доступа: [http://www.teacher-rt.ru/index.php/biblioteka/matematika/1921-matematika\\_i\\_sport](http://www.teacher-rt.ru/index.php/biblioteka/matematika/1921-matematika_i_sport).

### **СПОСОБ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ОТВЕРСТИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ОТВЕТСТВЕННЫХ ФЛАНЦЕВ ГЕОХОДА**

*А.В. Вальтер, к.т.н., доцент; А.Н. Березовский, студент, С.Е. Лагунов, студент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: lagunov.1993@bk.ru*

Постановка на производство геоходов требует решения ряда научно-технических проблем, связанных с обеспечением качества продукции [1]. Производственные технологии должны не только обеспечивать установленные показатели точности продукции, как одного из важнейших показателей качества, но и предусматривать методы и средства контроля точности [2]. Методы и средства технического контроля должны обеспечивать требуемую точность [3] и производительность измерений [4]. Размерный технический контроль является неотъемлемой частью системы обеспечения качества

продукции и является фактической базой для разработки мероприятий по совершенствованию технологий. В конструкции геохода имеется большое количество разъемных болтовых, винтовых и штифтовых соединений, для которых установлены позиционные допуски на отверстия. Особую сложность для контроля представляют позиционные допуски на отверстия круговых фланцев, поскольку к ним предъявляются требования к симметричности расположения относительно базовых поверхностей вращения. Подобные фланцы присутствуют на таких узлах геохода, как головная и стабилизирующая секция [5], модуль сопряжения [6], ротор погрузочной системы [7].

При контроле позиционного допуска на отверстия под штифты фланца стабилизирующей секции путем измерения расстояний универсальными мерительными инструментами, необходимо измерить 13 размеров в соответствии со схемой на рис. 1.

Для определения погрешности позиционного допуска необходимо определить окружность, отклонения осей отверстий от которой являются наименьшими. Назовем такую окружность опорной. Предложено достаточно большое количество различных способов нахождения аппроксимирующей окружности, их обзор приведен в работе [8]. Используя метод наименьших квадратов можно записать:

$$x_0 = \frac{W_1 N_{22} - W_2 N_{12}}{N_{11} N_{22} - N_{12} N_{21}}; y_0 = \frac{W_2 N_{11} - W_1 N_{21}}{N_{11} N_{22} - N_{12} N_{21}}; \quad (4)$$

$$r_0 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2 - 2 \left( x_0 \sum_{i=1}^n x_i + y_0 \sum_{i=1}^n y_i \right) \right);$$

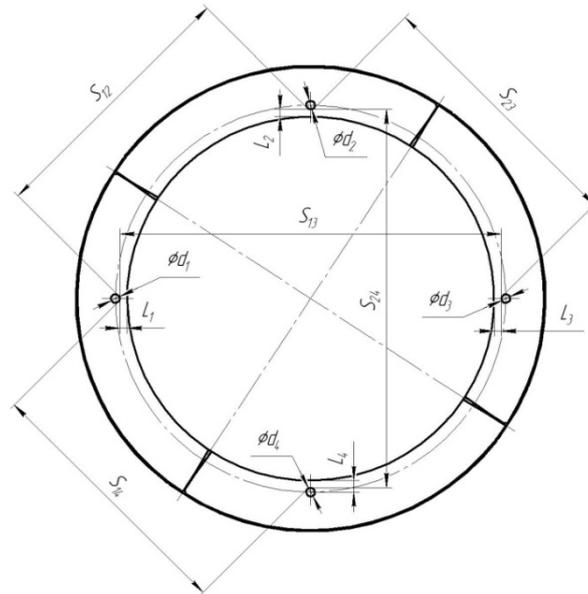


Рис. 1. Схема измерений при контроле позиционного допуска на отверстия под штифты фланца стабилизирующей секции

где  $x_0$  и  $y_0$  – координаты центра опорной окружности;  $r_0$  – радиус опорной окружности;  $x_i$  и  $y_i$  – координаты отверстий;  $n$  – количество отверстий;  $N_{11}$ ,  $N_{22}$ ,  $N_{12}$ ,  $N_{21}$ ,  $W_1$ ,  $W_2$  – промежуточные величины, вычисляемые из выражений:

$$N_{11} = 2 \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right); N_{22} = 2 \left( \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right);$$

$$N_{12} = N_{21} = 2 \left( \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right); \quad (5)$$

$$W_1 = \sum_{i=1}^n x_i^3 + \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$W_2 = \sum_{i=1}^n y_i^3 + \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \sum_{i=1}^n y_i.$$

Для определения координат отверстий воспользуемся методом триангуляции и определим координаты по схеме, приведенной на рис. 2. В таком случае координаты точек могут быть определены из следующих выражений:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0; y_1 = 0; \\ x_2 &= 0; y_2 = A_{12}; \\ x_3 &= A_{13} \sin \alpha_{23}; y_3 = A_{13} \cos \alpha_{23}; \\ x_4 &= A_{14} \sin \alpha_{24}; y_4 = A_{14} \cos \alpha_{24}; \\ \cos \alpha_{23} &= \frac{A_{12}^2 + A_{13}^2 - A_{23}^2}{2A_{12}A_{13}}; \cos \alpha_{24} = \frac{A_{12}^2 + A_{14}^2 - A_{24}^2}{2A_{12}A_{14}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Обобщая для произвольного количества отверстий получим:

$$\begin{aligned} x_k &= A_{1k} \sin \alpha_{2k}; y_k = A_{1k} \cos \alpha_{2k}; \\ \cos \alpha_{2k} &= \frac{A_{12}^2 + A_{1k}^2 - A_{2k}^2}{2A_{12}A_{1k}}; \\ A_{ik} &= S_{ik} + \frac{d_i}{2} + \frac{d_k}{2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Следует отметить, что полученные выражения могут использоваться для контроля положения любых произвольных точек, равномерно расположенных на окружности. Например, при контроле положения опор приспособлений при сборке секторов геохода по методике, приведенной в [9].

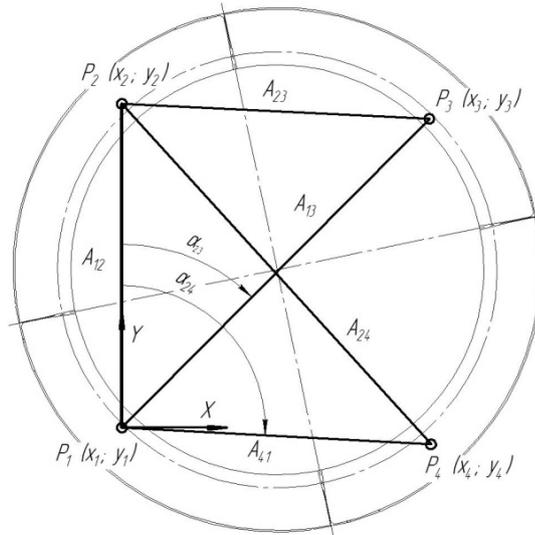


Рис. 2. Схема к определению координат отверстий при контроле позиционного допуска  
Отклонение от требований позиционного допуска для  $i$ -го отверстия определим как расстояние между номинальным и действительным положением отверстия:

$$\Delta_{POSi} = \sqrt{(x_i^2 - x_{Ni}^2) + (y_i^2 - y_{Ni}^2)}; \quad (8)$$

где  $x_{Ni}$  и  $y_{Ni}$  – координаты номинального положения  $i$ -го отверстия.

Если позиционный допуск  $T_{POS}$  задан в диаметральном выражении, то условием годности будет соответствие для каждого отверстия неравенству:

$$\Delta_{POSi} \leq \frac{T_{POS}}{2}. \quad (9)$$

В случае если, отверстия заданы размерами без требований симметричности по какой-либо базе, то номинальное положение откладывается от центра опорной окружности. Для удобства перенесем начало системы координат в центр опорной окружности и пересчитаем все координаты по формулам:

$$x'_i = x_i - x_0; y'_i = y_i - y_0. \quad (10)$$

Тогда для четырех отверстий, лежащих равномерно на одной окружности:

$$\begin{aligned}x_{N1}' &= \frac{x_1' r_N}{\sqrt{x_1'^2 + y_1'^2}}; y_{N1}' = \frac{y_1' r_N}{\sqrt{x_1'^2 + y_1'^2}}; \\x_{N2}' &= y_{N1}'; y_{N2}' = -x_{N1}'; \\x_{N3}' &= -x_{N1}'; y_{N3}' = -y_{N1}'; \\x_{N4}' &= -y_{N1}'; y_{N4}' = x_{N1}'.\end{aligned}\tag{11}$$

Для произвольного количества  $m$  отверстий, лежащих на одной окружности:

$$\begin{aligned}x_{Ni}' &= \frac{x_1' r_N}{\sqrt{x_1'^2 + y_1'^2}} \cos \frac{2\pi i}{m} - \frac{y_1' r_N}{\sqrt{x_1'^2 + y_1'^2}} \sin \frac{2\pi i}{m}; \\y_{Ni}' &= \frac{x_1' r_N}{\sqrt{x_1'^2 + y_1'^2}} \sin \frac{2\pi i}{m} + \frac{y_1' r_N}{\sqrt{x_1'^2 + y_1'^2}} \cos \frac{2\pi i}{m}.\end{aligned}\tag{12}$$

Из выше приведенного следует, что для контроля необходимо измерить диаметры  $d_1, d_2, d_3, d_4$ , а также расстояния  $S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{23}, S_{24}$ .

В случае если задана симметричность, то номинальное положение необходимо устанавливать от центра симметрии [10]. Для определения центра симметрии могут быть измерены еще четыре размера:  $L_1, L_2, L_3, L_4$ , по которым могут быть получены координаты точек окружности базы:

$$\begin{aligned}x_{Bi}' &= \left( x_i'^2 + y_i'^2 - \frac{d_i}{2} - L_i \right) \frac{x_i'}{\sqrt{x_i'^2 + y_i'^2}}; \\y_{Bi}' &= \left( x_i'^2 + y_i'^2 - \frac{d_i}{2} - L_i \right) \frac{y_i'}{\sqrt{x_i'^2 + y_i'^2}}.\end{aligned}\tag{13}$$

Также используя метод наименьших квадратов, можем определить координаты центра окружности базы:

$$\begin{aligned}x_{B0}' &= \frac{W_{B1} N_{B22} - W_{B2} N_{B12}}{N_{B11} N_{B22} - N_{B12} N_{B21}}; \\y_{B0}' &= \frac{W_{B2} N_{B11} - W_{B1} N_{B21}}{N_{B11} N_{B22} - N_{B12} N_{B21}}; \\N_{B11} &= 2 \left( \sum_{i=1}^n x_{Bi}'^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_{Bi}' \right)^2 \right); \\N_{B22} &= 2 \left( \sum_{i=1}^n y_{Bi}'^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n y_{Bi}' \right)^2 \right); \\N_{B12} &= N_{B21} = 2 \left( \sum_{i=1}^n x_{Bi}' y_{Bi}' - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{Bi}' \sum_{i=1}^n y_{Bi}' \right); \\W_{B1} &= \sum_{i=1}^n x_{Bi}'^3 + \sum_{i=1}^n x_{Bi}' y_{Bi}'^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{Bi}'^2 \sum_{i=1}^n x_{Bi}' - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{Bi}'^2 \sum_{i=1}^n x_{Bi}'; \\W_{B2} &= \sum_{i=1}^n y_{Bi}'^3 + \sum_{i=1}^n x_{Bi}'^2 y_{Bi}' - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{Bi}'^2 \sum_{i=1}^n y_{Bi}' - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{Bi}'^2 \sum_{i=1}^n y_{Bi}'.\end{aligned}\tag{14}$$

Для удобства перенесем начало системы координат в центр базовой окружности и пересчитаем все координаты по формулам:

$$x_i'' = x_i' - x_{B0}'; y_i'' = y_i' - y_{B0}'.\tag{15}$$

Для произвольного количества  $m$  отверстий, лежащих на одной окружности:

$$\begin{aligned}
 x_{Ni}'' &= \frac{x_i'' r_N}{\sqrt{x_i''^2 + y_i''^2}} \cos \frac{2\pi i}{m} - \frac{y_i'' r_N}{\sqrt{x_i''^2 + y_i''^2}} \sin \frac{2\pi i}{m}; \\
 y_{Ni}'' &= \frac{x_i'' r_N}{\sqrt{x_i''^2 + y_i''^2}} \sin \frac{2\pi i}{m} + \frac{y_i'' r_N}{\sqrt{x_i''^2 + y_i''^2}} \cos \frac{2\pi i}{m}.
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Полученные выражения позволяют установить соответствие или несоответствие позиционному допуску на основании 13 измерений. Выражения могут быть расширены на использование при большем количестве отверстий.

Литература.

1. Аксенов В.В., Вальтер А.В. Специфика геохода как предмета производства // Научное обозрение. – 2014. – № 8, Ч. 3. – С. 945-950.
2. Сулов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
3. Серых В.И., Гребцова Л.В. Метод обоснования требований к точности средств измерительного контроля // Вестник СибГУТИ. – 2012. – № 1. – С. 30-40.
4. Сапрыкин А.А., Вальтер А.В. Производительность процесса 2,5-координатного формообразования и технологичность изделий сложной пространственной формы // Технология машиностроения. – 2008. – № 2. – С. 20 - 22.
5. Аксенов В.В., Вальтер А.В., Бегляков В.Ю. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода // Обработка металлов (Технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 4 (65). – С. 19-28.
6. Аксенов В.В. Обоснование необходимости разработки узла сопряжения секций геохода / В.В. Аксенов, М.Ю. Блащук, А.А. Дронов // Горный инженер. – 2013. – № 1. – С. 216-221.
7. Вальтер А.В. К вопросу обеспечения унификации изделий погрузочной системы геохода на этапе эскизного проектирования. // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: материалы III Международной практической конференции, г. Новокузнецк, 28-30 ноября 2013 г. – С. 337-340.
8. Айриян А.С., Багинян С.А., Ососков Г.А., Хёне К. Быстрые алгоритмы оценки параметров колец черенковского излучения в детекторах типа RICH // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. – 2007. – № 3 (6). – С. 15-28.
9. Вальтер А.В., Аксенов В.В. Определение отклонений геометрической формы оболочек корпусных изделий геохода // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов Международной научно-практической конференции/ Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 165-170.
10. Чупырин В.Н. Технический контроль в машиностроении: Справочник проектировщика / В.Н. Чупырин; под ред. В.Н. Чупырина, А.Д. Никифорова. – М.: Машиностроение, 1987. – 512 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ВЕРХОВЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОПОЖАРНОГО РАЗРЫВА

*К.О. Фрянова, студент гр. IEM41, Д.П. Гербель, студент гр. IEM41,  
научный руководитель: Перминов В.А., д. ф.-м. н., профессор  
Томский политехнический университет, г. Томск  
634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. (3822)-56-36-98  
E-mail: kof1@tpu.ru*

Изучение поведения верховых лесных пожаров при помощи метода математического моделирования помогает разработать профилактические меры по предотвращению и определению возможности возникновения лесных пожаров, ведь математическая модель – это приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математической символики.

В данной работе приводятся результаты расчетов возникновения и распространения верхового лесного пожара по осредненной по высоте полого леса в двухмерной постановке, полученной на основе общей математической модели пожаров [1-3] в зависимости от влияния скорости ветра, влагосодержания и запаса лесных горючих материалов (ЛГМ) на конечные параметры противопожарного разрыва для верховых лесных пожаров. Исследование проведено с помощью метода математического моделирования физических процессов. Данный метод основан на численном решении трехмерных уравнений Рейнольдса для турбулентного течения с учетом уравнений диффузии для химических компонентов и уравнений сохранения энергии для газовой и конденсированной фаз и уравнения состояния. Для получения дискретных аналогов использовался метод контрольных объемов [5].

На основе изложенной математической модели проводились численные расчеты по определению картины процесса возникновения верхового лесного пожара в результате зажигания полого леса от заданного очага горения. В результате численного интегрирования получены поля массовых концентраций компонентов газовой фазы, температур, объемных долей компонентов твердой фазы.

В ходе многочисленных исследований, была получена зависимость минимальной ширины противопожарного разрыва от скорости ветра, запасов и влагосодержания лесных горючих материалов.

В результате нагрева ЛГМ выделяются летучие продукты пиролиза, которые в дальнейшем могут воспламеняться, повышать температуру горения, и, следовательно, способствовать увеличению интенсивности распространения пожара.

Далее была предпринята попытка определения геометрических параметров противопожарного разрыва конечной формы. Для этого, проводились численные расчеты по определению картины процесса возникновения верхового лесного пожара в результате зажигания полого леса от заданного очага горения. В результате численного интегрирования получены новые поля массовых концентраций компонентов газовой фазы, температур, объемных долей компонентов твердой фазы. Получены значения параметров минимальных разрывов между участками леса (полян), которые зависят от скорости ветра, запаса и влагосодержания ЛГМ.

В ходе исследования можно проследить четкую зависимость длины противопожарного разрыва весьма проблематично. Проводя аналогию с ранее полученными результатами, можно сделать вывод, что наибольшее влияние на преодоление верховым лесным пожаром противопожарный разрыв оказывает параметр ширины просеки.

Аналогично первой части работы нами были построены графики распределения линий равного уровня (изолиний) температуры, концентраций кислорода и летучих горючих продуктов пиролиза для распределений функций при подходе к разрыву, переходе через него и дальнейшем распространении. А также случай, когда пожар подходит к разрыву, но не переходит через него.

В результате нагрева ЛГМ выделяются летучие продукты пиролиза, которые в дальнейшем могут воспламеняться, повышать температуру горения, и, следовательно, способствовать увеличению интенсивности распространения пожара.

На основе изложенной математической модели проводились численные расчеты по определению картины процесса возникновения верхового лесного пожара в результате зажигания полого леса от заданного очага горения. В результате численного интегрирования получены поля массовых концентраций компонент газовой фазы, температур, объемных долей компонентов твердой фазы. Из полученных данных следует, что формируется фронт горения, который распространяется по лесному массиву.

При выполнении расчетов в данной работе изучалось влияние определенных факторов на процесс распространения верхового лесного пожара. Полученные результаты позволяют получить критические условия распространения верхового лесного пожара при заданных размерах разрыва, то есть зависимость скорости распространения от скорости ветра, запасов и влагосодержания лесных горючих материалов (ЛГМ), что, в свою очередь, дает возможность применять такой метод расчетов для профилактики и разработки новых методик тушения лесных пожаров и предотвращения их.

Когда происходит уменьшение влагосодержания лесных горючих материалов, растет скорость распространения верхового лесного пожара. И соответственно, скорость распространения верхового лесного пожара увеличивается, если увеличивается скорость ветра (скорость движения воздушных масс).

Кроме этого, нами был определен второй критический параметр противопожарного разрыва, что на практике приведет не только к меньшим временным и материальным затратам, но и исключит возможность вырубки лишнего лесного массива, что является положительным фактором в тенденции озеленения нашей планеты.

Литература.

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, 1992, 408 с.
2. Гришин А.М., Грузин А.Д., Зверев В.Г. Математическая теория верховых лесных пожаров // Теплофизика лесных пожаров. - Новосибирск: ИТФ СО АН СССР. 1984. - С.38-75.
3. Perminov V. Numerical Solution of Reynolds equations for Forest Fire Spread // Lecture Notes in Computer Science. - 2002. -V.2329. -P.823-832.
4. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 152 с.
5. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: Пособие для лесных пожарных. Изд.3-е, перераб. и доп. – М.:ВНИИЛМ, 2002. 104 с.
6. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1984. 124 с.
7. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7.-СПб.: БХВ-Петербург, 2005.-1104с.: ил.

#### **ВЫПУСКНИКИ ШКОЛ ГОРОДА О ЕГЭ ПО МАТЕМАТИКЕ**

*Г. В. Хорошун, студент группы 10В41, Х.А. Там-Оглы, студент группы 10В41,  
научный руководитель: Тищенко А.В., ст. преподаватель*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: horoshun\_grigori@mail.ru*

Впервые единый государственный экзамен (ЕГЭ) был проведен в 2002 году в некоторых «экспериментальных» школах определённых субъектов РФ. Спустя пять лет, в 2007 году, был принят Федеральный закон о едином государственном экзамене, одобренный Государственной Думой [1]. По этому закону ЕГЭ вводился уже на территории всей Российской Федерации, но по-прежнему как «экспериментальный» (именно поэтому он был не обязательным для сдачи, в школах также проводились экзамены в традиционной форме). Далее был принят Федеральный закон от 2 февраля 2011 года N 2-ФЗ «О внесении изменений в закон РФ «Об образовании» и статьи 11 и 24 ФЗ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» в части совершенствования единого государственного экзамена» [2], в котором есть положения о том, что ЕГЭ стал обязательным (и будет оставаться таким и в последующие годы) экзаменом и заменил традиционные школьные экзамены.

В соответствии с Концепцией развития математического образования в Российской Федерации [3] ЕГЭ по математике в 2015 году разделен на два уровня: базовый и профильный. Успешная сдача ЕГЭ по математике базового уровня позволяет поступить в вузы, у которых в перечне вступительных испытаний при приеме на обучение по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата и программам специалитета отсутствует предмет «Математика». Результаты ЕГЭ по математике профильного уровня позволяют поступать в вузы, имеющие в перечне вступительных испытаний при приеме на обучение по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата и программам специалитета предмет «Математика».

После ввода базового и профильного уровней экзамена, не прекращаются споры. Одни восторженно отзываются об этом нововведении, другие, наоборот, считают, что введенные изменения не могут показать истинных знаний экзаменуемого.

С целью выявления мнений старшеклассников о едином государственном экзамене по математике, нами был проведен опрос. В опросе принимали участие 142 обучающихся 11 классов муниципальных общеобразовательных учреждений средних общеобразовательных школ. Большинство оп-

рошенных старшеклассников (83%) отнеслись положительно к тому, что единый государственный экзамен по математике разделили на два уровня и (17%) ответили отрицательно. Основная часть выпускников (76%) указали эффективность формы единого государственного экзамена, 24% опрошенных респондентов считает наиболее эффективной формой для проведения экзамена – традиционную форму (по билетам).

Единый государственный экзамен по математике оценивает знания и способности ученика более объективно, чем традиционный экзамен считают 66% старшеклассников, остальные 34% опрошенных считают, что экзамен не определяет знания и способности ученика. На большинство опрошенных респондентов (56%) математика наводит панику, остальные учащиеся (44%) считают, что готовы к экзамену. Однако 49% выпускников отметили, что *достаточно* готовы к экзамену; 21% указали, что готовы *хорошо* к предстоящему испытанию; 19% считают, что *недостаточно готовы*, 6% – готовы *крайне низко* и 5% указали, что затрудняются ответить на этот вопрос.

В связи с этим перед выпускниками ставился вопрос, считают ли они достаточным содержание современных учебников для подготовки к ЕГЭ. Больше половины выпускников (63%), считают содержание современных учебников для подготовки к экзамену по математике достаточными, 37% учащихся утверждают, что в современных учебниках слишком мало материала и формул.

Большинство опрошенных старшеклассников (87%) считают, что в полной мере владеют информацией о экзамене по математике, (13%) выпускников лишь частично информированы о ЕГЭ. Основная часть выпускников (85%) получает информацию о едином государственном экзамене по математике от учителей в школе, около 4 % – со школьных стендов, 8% старшеклассников получают информацию из средств массовой информации, треть респондентов получают информацию на официальном сайте ЕГЭ.

В ходе опроса выпускникам предлагалось указать, что может помочь при подготовке к единому государственному экзамену по математике. 64% анкетированных выпускников указали репетиционные (пробные) экзамены, 36% – репетиторство.

Кроме того, среди мероприятий, помогающих выпускникам при подготовке к ЕГЭ по математике, были указаны:

- \* курсы подготовки (45%);
- \* увеличение тестовых заданий на уроках (52%);
- \* ознакомление с изданиями о ЕГЭ по математике (30%);
- \* использование для контроля тестовых форм проверки обучения (19%);
- \* достаточно уроков (26%);
- \* дополнительные занятия с учителем (77%);
- \* самоподготовка (72%).

На вопрос имеете ли Вы представление, по какой специальности будете работать в будущем, 77% – знают, кем будут работать в будущем, 23% – не имеют представления или находятся в раздумье.

На основании вышеизложенного следует констатировать, что большинство выпускников относятся положительно к разделению математики на базовый и профильный уровни. Свои знания большинство учеников оценивают хорошо, многие занимаются дополнительно с учителем или записываются на курсы репетиторства. А мы надеемся сравнить ожидания и полученные результаты.

Литература.

1. Федеральный закон № 17-ФЗ от 09.02.2007 о введении ЕГЭ. 2. Федеральный закон № 2-ФЗ от 02.02.2011 <http://graph.document.kremlin.ru/page.aspx?1;1543915>.
2. Концепция развития математического образования в российской федерации [http://www.firo.ru/wp-content/uploads/2014/10/Concept\\_mathematika.pdf](http://www.firo.ru/wp-content/uploads/2014/10/Concept_mathematika.pdf).
3. <http://ria.ru/society/20140829/1021898764.html>.
4. <http://ege.edu.ru/>
5. <http://egeigia.ru/all-ege/materialy-ege/matematika/1642-matematika-bazovyj-profilnyj-praktikum-ege>.

### **АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ «С ПОТЕРЯМИ» JPEG**

*В.А. Эттель, к.т.н., доц., М.К. Разихова, студент,  
Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда  
100012, Казахстан, г. Караганда, ул. Мустафина, 32а,  
E-mail: razikhova@gmail.com*

На сегодняшний день JPEG является одной из ярких иллюстраций результатов исследований в области развития технологий сжатия изображений. Аббревиатура JPEG происходит от названия комитета по стандартам Joint Photographic Experts Group (Объединенная группа экспертов по фотографии), входящего в состав Международной организации по стандартизации (ISO). В 1982 году ISO сформировала группу экспертов по фотографии (PEG), возложив на нее обязанности по проведению исследований в области передачи видеосигналов, неподвижных изображений и текстов по каналам ISDN (интегральная цифровая сеть связи). Перед PEG была поставлена задача разработать набор промышленных стандартов по передаче графических данных и данных изображений с помощью цифровых коммуникационных сетей.

В 1986 году подгруппой CCITT были начаты исследования методов сжатия цветных и полутоновых данных для факсимильной связи. Применяемые при этом методы сжатия цветных данных очень напоминали те, которые исследовались группой JPEG. Поэтому было принято решение объединить ресурсы этих групп для совместной работы над единым стандартом.

В 1987 году ISO и CCITT объединили свои группы в комитет, который должен был провести исследования и выпустить стандарт сжатия данных, который применялся бы обеими организациями. Новый комитет получил название JPEG.

Создатели JPEG смогли предусмотреть множество коммерческих программ на базе разрабатываемой технологии, поскольку потребители ожидали маркетинговых предложений по получению изображений и мультимедиа. Большинство из ранее разработанных методов сжатия были мало пригодны для сжатия данных полноцветных многоградационных изображений, содержащих сотни и тысячи цветов, характеризующих реальный мир. В тот период очень малое число файловых форматов могли поддерживать растровые изображения с глубиной цвета 24-бит/пиксел и более.

Например, формат GIF позволял сохранять только изображения с максимальной глубиной цвета 8 бит/пиксел, т.е. не более 256 цветов. Его алгоритм сжатия (LZW) мало подходил для сканированных изображений.

Форматы TIFF и BMP позволяли хранить данные глубиной 24-бит/пиксел, но их версии, существовавшие до JPEG, позволяли применять только схемы кодирования, которые плохо сжимали этот тип данных изображения (LZW и RLE, соответственно).

JPEG явился методом сжатия, позволяющим сжимать данные полноцветных многоградационных изображений с глубиной от 6 до 24 бит/пиксел с достаточно высокой скоростью и эффективностью. Сегодня JPEG - эта схема сжатия изображений, которая позволяет достичь очень высоких коэффициентов сжатия. Правда, максимальное сжатие графической информации, как правило, связано с определенной потерей информации. То есть, для достижения высокой степени сжатия алгоритм так изменяет исходные данные, что получаемое после восстановления изображение будет отличаться от исходного (сжимаемого). Этот метод сжатия используется для работы с полноцветными изображениями высокого фотографического качества

JPEG не был определен в качестве стандартного формата файлов изображений, однако на его основе были созданы новые или модифицированы существовавшие файловые форматы.

Спецификация JPEG определяет минимальные требования стандарта, которые должны поддерживаться всеми программами, использующими этот метод. JPEG основан на схеме кодирования, базирующейся на дискретных косинус-преобразованиях (DCT). DCT – это общее имя определенного класса операций, данные о которых были опубликованы несколько лет назад. Алгоритмы, базирующиеся на DCT, стали основой различных методов сжатия. Эти алгоритмы сжатия базируются не на поиске одинаковых атрибутов пикселов (как в RLE и LZW), а на разнице между ними.

В силу своей природы они всегда кодируют с потерями, но способны обеспечить высокую степень сжатия при минимальных потерях данных. Схема JPEG эффективна только при сжатии многоградационных изображений, в которых различия между соседними пикселями, как правило, весьма незначительны. Практически JPEG хорошо работает только с изображениями, имеющими глубину хотя бы 4 или 5 битов/пиксел на цветовой канал. Основы стандарта определяют глубину входного образца в 8 бит/пиксел. Данные с меньшей битовой глубиной могут быть обработаны посредством масштабирования до 8 бит/пиксел, но результат для исходных данных с низкой глубиной цвета может быть неудовлетворительным, поскольку между атрибутами соседних пикселов будут существен-

ные различия. По подобным причинам плохо обрабатываются исходные данные на основе цветowych таблиц, особенно если изображение представляется в размытом виде.

Процесс сжатия по схеме JPEG включает ряд этапов.

- Преобразование изображения в оптимальное цветовое пространство.
- Субдискретизация компонентов цветности усреднением групп пикселей.
- Применение дискретных косинус-преобразований для уменьшения избыточности данных изображения.

- Квантование каждого блока коэффициентов DCT с применением весовых функций, оптимизированных с учетом визуального восприятия человеком.

- Кодирование результирующих коэффициентов (данных изображения) с применением алгоритма Хаффмана для удаления избыточности информации.

Рассмотрим вкратце особенности каждого из перечисленных этапов. При этом хотелось бы обратить внимание на то, что декодирование JPEG осуществляется в обратном порядке.

**Цветовое пространство.** В принципе алгоритм JPEG способен кодировать изображения, основанные на любом типе цветового пространства. JPEG кодирует каждый компонент цветовой модели отдельно, что обеспечивает его полную независимость от любой модели цветового пространства (например, от RGB, HSI или CMYK).

В случае применения цветового пространства яркость/цветность, например такого, как YUV или YCbCr, достигается лучшая степень сжатия. Компонента Y представляет собой интенсивность, а U и V - цветность. Эта модель может быть переведена в RGB посредством преобразования без какой-либо коррекции насыщенности. Для полутоновых изображений (в градациях серого) используется только одна составляющая Y.

Преобразование цветовой модели RGB в модель YCbCr осуществляется с помощью следующих соотношений:

$$Y = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B;$$

$$Cb = -0,1687 R - 0,3313 G + 0,5 B + 128;$$

$$Cr = 0,5 R - 0,4187 G - 0,0813 B + 128.$$

Обратное преобразование модели YCbCr в модель RGB осуществляется с помощью подобных соотношений:

$$R = Y + 1,402 (Cr-128);$$

$$G = Y - 0,34414 (Cb-128) - 0,71414 (Cr-128);$$

$$B = Y + 1,772 (Cb-128).$$

**Субдискретизация компонентов цветности.** На экране компьютера мы практически никогда не видим реально полноцветных изображений реального мира. Это объясняется ограниченными возможностями по цифровому представлению в памяти ПЭВМ, искажениями при воспроизведении цвета монитором и видеокарткой. В результате на мониторе ПЭВМ воспроизводятся, в зависимости от выбранного видеорежима, цвета наиболее близкие к реальным.

Большая часть визуальной информации, к которой наиболее чувствительны глаза человека, состоит из высокочастотных, полутоновых компонентов яркости (Y) цветового пространства YCbCr. Две других составляющих цветности (Cb и Cr) содержат высокочастотную цветовую информацию, к которой глаз человека менее чувствителен. Следовательно, определенная ее часть может быть отброшена и, тем самым, можно уменьшить количество учитываемых пикселей для каналов цветности. Например, в изображении размером 1000x1000 пикселей можно использовать яркости всех 1000x1000 пикселей, но только 500x500 пикселей для каждого компонента цветности. При таком представлении каждый пиксел цветности будет охватывать ту же область, что и блок 2x2 пиксела (для яркости). В результате мы сохраним для каждого блока 2x2 всего 6 пиксельных значений (4 значения яркости и по 1 значению для каждого из двух каналов цветности) вместо того, чтобы использовать 12 значений при обычном описании. Практика показала, что уменьшение объема данных на 50% почти незаметно отражается на качестве большинства изображений.

Однако в случае общепринятых цветowych моделей типа RGB такое представление данных невозможно, поскольку каждый цветовой канал RGB несет некоторую информацию яркости и любая потеря разрешения весьма заметна.

Уменьшение разрешения каналов цветности путем субдискретизации, или усреднения групп пикселей осуществляется компрессором JPEG.

Стандарт JPEG предлагает несколько различных вариантов определения коэффициентов дискретизации, или относительных размеров каналов субдискретизации. Канал яркости всегда остается с полным разрешением (дискретизация 1:1). Для обоих каналов цветности обычно производится субдискретизация

2 - в горизонтальном направлении и 1:1 или 2:1 — в вертикальном. При этом подразумевается, что цветности пикселей будет охватывать ту же область, что и блок 2x1 или 2x2 яркости пикселей. Согласно терминологии JPEG, эти процессы называются 2h1v - и 2h2v - дискретизацией соответственно.

Другой общепринятой спецификацией дискретизации 2h1v является 4:2:2, а дискретизации 2h2v — 4:2:0; последняя спецификация связана с телевидением. Дискретизация 2h1v используется достаточно широко, поскольку соответствует стандарту NTSC (Национальный комитет по телевизионным стандартам США), однако при весьма незначительном выигрыше в качестве она обеспечивает меньшую степень сжатия, чем дискретизация 2h2v.

Цветовые модели RGB, HSI и CMY используют в полезной визуальной информации все три цветовых компонента. Это затрудняет ее выборочное отбрасывание, а, следовательно, и уменьшает степень сжатия данных. Полутоновые изображения не имеют цветового пространства и, следовательно, не нуждаются в преобразовании.

Поскольку средства визуализации и представления информации являются цифровыми, в них изначально заложена определенная система квантования сигнала. В конечном итоге, уровень квантования определяется глубиной цвета, т. е. количеством кодовых комбинаций, которые используются для кодирования цвета. Этот процесс и называется *квантованием цвета*.

Поскольку в квантованной матрице отсутствует значительная доля высокочастотной информации, имеющейся в исходной матрице, первая часто сжимается до половины своего первоначального размера или даже еще больше. Реальные фотографические изображения часто совсем невозможно сжать с помощью методов сжатия без потерь, поэтому 50%-ное сжатие признается достаточно хорошим.

После конвертации графических данных в цветовое пространство типа **LAB**, отбрасывается часть информации о цвете (в зависимости от конкретной реализации алгоритма).

Первоначально в спецификациях формата не была предусмотрена субтрактивная цветовая модель CMYK. Фирма Adobe ввела поддержку функции цветоделения. Однако использование цветовой модели CMYK в JPEG для многих программ проблематично. Более надежным решением считается использование JPEG-сжатия в EPS-файлах (Photoshop).

**Дискретное косинусное преобразование.** Дискретное косинусное преобразование позволяет переходить от пространственного представления картинки к ее спектральному представлению и обратно. Воздействуя на спектральное представление картинки, состоящее из “гармоник”, то есть, отбрасывая наименее значимые из них, можно балансировать между качеством воспроизведения и степенью сжатия. Изображение делится на блоки 8x8 пикселей, затем для каждого блока 8x8 применяется DCT-трансформация. Блоки 8x8 обрабатываются слева направо и сверху вниз.

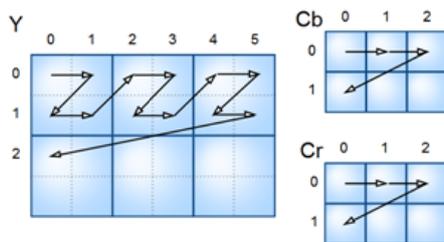


Рис. 1. Каждый блок  $Y_{ij}$ ,  $Cb_{ij}$ ,  $Cr_{ij}$  – это матрица коэффициентов ДКП, закодированная кодами Хаффмана. В файле они располагаются в таком порядке:  $Y_{00}Y_{10}Y_{01}Y_{11}Cb_{00}Cr_{00}Y_{20}$

Поскольку каждый пиксель в блоке 8x8 имеет 3 компонента (Y,Cb,Cr), DCT приложен отдельно в трех блоках 8x8:

Первый блок 8x8 является блоком, который содержит яркость пикселей в исходном блоке 8x8;

Второй блок 8x8 является блоком, который содержит величины Cb;

И, аналогично, третий блок 8x8 содержит величины Cr.

DCT-трансформация очень похожа на 2-мерное преобразование Фурье, которое получает из временного интервала (исходный блок 8x8) частотный интервал (новые коэффициенты 8x8=64, которые представляют амплитуды проанализированного частотного пространства)

Формулы прямого и обратного дискретного косинусного преобразования представлены ниже. Дискретное косинусное преобразование преобразует матрицу пикселей размером NxN в матрицу частотных коэффициентов соответствующего размера.

$$DCT_{(i,j)} = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(i)C(j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} pixel(x,y) \cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N}\right]$$

$$C(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & x = 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$$

Формула дискретного косинусного преобразования.

$$ДКП \quad (i, j) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} C(x)C(y) \quad ДКП \quad (i, j) \cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N}\right]$$

$$C(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & x = 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$$

Применение этих формул непосредственно в вычислительном отношении дорого, особенно, когда имеются разработанные более быстрые алгоритмы для прямого или обратного DCT. Один, названный AA&N, имеет только 5 операций умножения и 29 операций сложения.

В получившейся матрице коэффициентов низкочастотные компоненты расположены ближе к левому верхнему углу, а высокочастотные - справа и внизу. Это важно потому, что большинство графических образов на экране компьютера состоит из низкочастотной информации. Высокочастотные компоненты не так важны для передачи изображения. Таким образом, дискретное косинусное преобразование позволяет определить, какую часть информации можно безболезненно выбросить, не внося серьезных искажений в картинку.

**Округление коэффициентов.** Дискретное косинусное преобразование представляет собой преобразование информации без потерь и не осуществляет никакого сжатия. Напротив, дискретное косинусное преобразование подготавливает информацию для этапа сжатия с потерями или округления.

Округление представляет собой процесс уменьшения количества битов, необходимых для хранения коэффициентов матрицы дискретного косинусного преобразования за счет потери точности.

Стандарт JPEG реализует эту процедуру через матрицу округления. Для каждого элемента матрицы дискретного косинусного преобразования существует соответствующий элемент матрицы округления. Результирующая матрица получается делением каждого элемента матрицы дискретного косинусного преобразования на соответствующий элемент матрицы округления и последующим округлением результата до ближайшего целого числа. Как правило, значения элементов матрицы округления растут по направлению слева направо и сверху вниз.

**Выбор матрицы округления.** От выбора матрицы округления зависит баланс между степенью сжатия изображения и его качеством после восстановления. Стандарт JPEG позволяет использовать любую матрицу округления, однако ISO разработала набор матриц округления.

Матрица округления строится при помощи очень простого алгоритма. Для того чтобы определить шаг роста значений в матрице округления, задается одно значение в диапазоне [1, 25], называемое фактором качества. Затем матрица заполняется следующим образом:

```
for (i = 0; i < N; i++)
for (j = 0; j < N; j++)
Matrix[i][j] = 1 + (1 + i + j) * QualityFactor;
```

Фактор качества задает интервал между соседними уровнями матрицы округления, расположенными на ее диагоналях. Пример, полученной таким образом матрицы округления, представлен на рис. 2.

3	5	7	9	11	13	15	17
5	7	11	13	15	17	19	21
7	11	13	15	17	19	21	23
9	11	13	15	17	19	21	23
11	13	15	17	19	21	23	25
13	15	17	19	21	23	25	27
15	17	19	21	23	25	27	29
17	19	21	23	25	27	29	31

Рис. 2. Матрица округления с фактором качества, равным 2

Необходимо отметить, что при таких значениях матрицы округления коэффициент в матрице дискретного косинусного преобразования, расположенный в ячейке (7,7), должен принимать значение не меньше 16, чтобы после округления иметь значение, отличное от 0, и влиять на декодируемое изображение. Таким образом, операция округления является единственной фазой работы JPEG, где происходит потеря информации.

Вычисления при использовании метода DCT чрезвычайно сложны; фактически — это наиболее трудоемкий этап сжатия JPEG. Выполнив его, мы практически разделяем высокочастотную и низкочастотную информацию, из которых состоит изображение. После этого можно отбросить высокочастотные данные без потери низкочастотных. Сам по себе этап преобразования DCT не предусматривает потерь, за исключением ошибок округления.

Прежде чем отбросить определенный объем информации, компрессор делит каждое выходное значение DCT на "коэффициент квантования", округляя результат до целого. Чем больше коэффициент квантования, тем больше данных теряется, поскольку реальное DCT-значение представляется все менее и менее точно. Каждая из 64 позиций выходного блока DCT имеет собственный коэффициент квантования. Причем термы большего порядка квантуются с большим коэффициентом, чем термы меньшего порядка. Кроме того, для данных яркости и цветности применяются отдельные таблицы квантования, позволяющие квантовать данные цветности с большими коэффициентами, чем данные яркости. Таким образом, JPEG использует различную чувствительность глаза к яркости и цветности изображения.

На этом этапе большинство JPEG-компрессоров управляются с помощью установки качества. Компрессор использует встроенную таблицу, рассчитанную на среднее качество, и наращивает или уменьшает значение каждого элемента таблицы обратно пропорционально требуемому качеству. Применяемые таблицы квантования записываются в сжатый файл, чтобы декомпрессор знал, как восстановить коэффициенты DCT (приблизительно).

Выбор соответствующей таблицы квантования является "высоким искусством". Большинство существующих компрессоров используют таблицу, разработанную Комитетом JPEG ISO. Возможно, со временем будут предложены таблицы, позволяющие осуществлять сжатие более эффективно и при сохранении качества изображения.

**Кодирование.** Заключительная стадия работы кодера JPEG - это собственно кодирование. Оно включает три действия над округленной матрицей дискретного косинусного преобразования, для того, чтобы повысить степень сжатия.

Первое действие - это замена абсолютного значения коэффициента, расположенного в ячейке (0,0) матрицы, на относительное. Так как соседние блоки изображения в значительной степени "похожи" друг на друга, то кодирование очередного (0,0) элемента как разницы с предыдущим дает меньшее значение.

Коэффициенты матрицы дискретного косинусного преобразования обходятся зигзагом. После чего нулевые значения кодируются с использованием алгоритма кодирования повторов (RLE), а потом результат обрабатывается с помощью "кодирования энтропии", то есть алгоритмов Хаффмана или арифметического кодирования, в зависимости от реализации.

"Кодирование энтропии". Результатом работы, упрощенной схемы кодирования, являются тройки следующего вида:

<Количество Нулей, Количество Битов, Коэффициент>

Здесь:

Количество Нулей - количество повторяющихся нулей, предшествующих текущему (ненулевому) элементу матрицы дискретного косинусного преобразования;

Количество Битов - количество битов, следующих далее, кодирующих значение коэффициента;

Коэффициент - значение ненулевого элемента матрицы дискретного косинусного преобразования.

Таблица 1

Соответствие полей «Количество Битов» и «Коэффициент»

Количество Битов	Коэффициент
1	[-1, 1]
2	[-3, -2], [2, 3]
3	[-7, -4], [4, 7]
4	[-15, -8], [8, 15]
5	[-31, -16], [16, 31]
6	[-63, -32], [32, 63]
7	[-127, -64], [64, 127]
8	[-255, -128], [128, 255]
9	[-511, -256], [256, 511]
10	[-1023, -512], [512, 1023]

Такое кодирование не столь эффективно, как кодирование Хаффмана, но на определенных данных оно дает аналогичные результаты.

После завершения этого этапа поток данных JPEG готов к передаче по коммуникационным каналам или инкапсуляции в формат файла изображения.

Литература.

1. [ru.wikipedia.org/JPEG](http://ru.wikipedia.org/JPEG).
2. [en.wikipedia.org/JPEG](http://en.wikipedia.org/JPEG).
3. JPEG Standard (JPEG ISO/IEC 10918-1 ITU-T Recommendation T.81).
4. [impulseadventure.com/photo](http://impulseadventure.com/photo).
5. <http://www.cambridgeincolour.com/ru/tutorials/imagetypes.htm>.

## МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

*З.А. Ягафарова, к.ф.-м.н., доц., Г.Р. Нигматуллина, студент, Л.Р. Рахматуллина, студент  
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, г. Стерлитамак  
453103, г. Стерлитамак, ул. Ленина, 47а  
E-mail: Zulfiya\_Abdul@mail.ru*

При синтезе и исследовании новых материалов получение точной информации о структуре соединений является актуальной задачей. Рассмотрим круг вопросов, связанных с уточнением кристаллической структуры исследуемых объектов. Пусть имеется модель изучаемой структуры. Под моделью подразумевается атомная модель, т.е. совокупность координат и параметров тепловых колебаний атомов, входящих в состав исследуемого объекта. Допустим, что эта модель по ряду признаков нас не вполне устраивает, и мы хотим изменить ее так, чтобы привести ее в лучшее соответствии с нашими представлениями о том, какой должна быть эта модель. Также у нас имеются данные рентгеновского эксперимента – дифрактограммы. Основные вопросы, на которые мы должны ответить, ставя задачу уточнения структуры:

- соответствует ли теоретическая модель кристаллической структуры данным рентгеновского эксперимента;
- какие изменения в модели при уточнении мы рассматриваем как допустимые;
- какими средствами мы будем контролировать ход уточнения структуры и определять качество полученной модели.

Для того, чтобы ответить на первый вопрос мы должны уметь решать прямую задачу: рассчитать по имеющейся модели количественную картину рассеяния, т.е. должны уметь рассчитывать по координатам атомов величины модулей всех структурных факторов.

В задачах структурного анализа обычно используется кинематическая теория рассеяния рентгеновских лучей [1-2]. При работе с суперионными проводниками эта модель рассеяния позволяет добиться точности совпадения рассчитанных по модели и экспериментальных значений в пределах 5-10%.

Перечислим основные принципы теории рассеяния рентгеновских лучей. Рентгеновские лучи, будучи фотонами электромагнитного излучения, обладают свойствами как волны, так и частицы. Под воздействием этой электромагнитной волны каждый электрон атома приходит в движение; при этом это движение может быть описано уравнениями для свободных зарядов.

При упругом столкновении с заряженными частицами рентгеновские лучи когерентно рассеиваются с сохранением частоты и с фазой, отличающейся на  $\pi$  от фазы первичного излучения, т.е. рассеянная волна может интерферировать с падающей волной или другими когерентно рассеянными волнами. В результате эффекта Комптона возникает также и некогерентное рассеяние, при котором энергия части рассеиваемых фотонов оказывается меньше энергии квантов первичного пучка. В рентгеноструктурном анализе кристаллических веществ, главным образом используется когерентно рассеянное излучение, а некогерентное чаще всего является мешающим фоном у дифракционного профиля интенсивности.

Информация о структуре связана с анализом интенсивностей рефлексов, поскольку их расположение определяется лишь размерами элементарной ячейки. Интенсивности зависят от расположения атомов и угла дифракции. Существует связь интенсивности рассеянного электроном рентгеновского луча, т.е. потока энергии на единицу площади в единицу времени, с углом дифракции. Известно, что

интенсивность пропорциональна квадрату амплитудного значения напряженности электрического поля ( $E$ ) рассеянной рентгеновской волны, т.е. интенсивность  $I = (c / 4\pi) E^2$ , где  $c$  – скорость света.

Интегральная интенсивность рефлекса  $I_{HKL}$ , полученного от плоскостей с индексами  $(hkl)$  в  $n$ -ом порядке отражения, причем  $H=nh$ ,  $K=nk$ ,  $L=nl$ , определяется выражением:

$$I_{HKL} = C \cdot L(\theta) \cdot |F_{HKL}|^2 \cdot P_{HKL} \cdot e^{-2M} \cdot A(\theta),$$

где  $C$  – общий для всех линий дифрактограммы множитель, зависящий от длины волны излучения;  $|F_{HKL}|^2$  – структурный фактор

$$F_{HKL} = \sum_{j=1}^N f_j e^{2\pi i(Hx_j + Ky_j + Lz_j)},$$

$f_j$  – атомная амплитуда рассеяния, зависящая от порядкового номера элемента;  $x_j, y_j, z_j$  – координаты базисных атомов;  $F_{HKL}$  – фактор повторяемости учитывающий число эквивалентных плоскостей, дающих одну и ту же дифракционную линию. Он зависит от типа кристаллической решетки и сорта плоскостей;  $e^{-2M}$  – температурный фактор;  $A(\theta)$  – фактор поглощения, зависящий от исследуемого вещества, длины волны излучения и метода съемки.

Следует так же иметь в виду, что расчетная интенсивность складывается из интенсивности  $i$ -той точки дифрактограммы и фона:

$$I_{ic} = I_{ib} + \sum_{k=K_1}^{K_2} G_{ik} I_k,$$

где  $I_{ic}$  – интенсивность, рассчитанная в  $i$ -ой точке,

$I_{ib}$  – интенсивность фона,

$G_{ik}$  – функция формы пика,

$I_k$  – брэгговская интенсивность.

Во всех выражениях функции  $G$  фигурирует величина  $H_k$  – полная ширина дифракционного максимума на половине его высоты, которая в свою очередь зависит от угла  $\theta$ :

$$H_k = U \operatorname{tg}^2 \theta_k + V \operatorname{tg} \theta_k + W,$$

где  $U, V, W$  – параметры функции аппроксимации пика.

Ширина пика сильно зависит от условий эксперимента и возрастает при увеличении угла  $2\theta$ .

Уточняемые параметры делятся на:

- профильные (асимметрия пика, ширина пика на полувысоте, предпочтительная ориентация кристаллитов в веществе, параметры фона, ноль в счетчике);
- структурные (параметры элементарной ячейки, координаты атомов, заселенность позиций и тепловые факторы).

Уточнение и полный анализ структуры проводятся методом Ритвельда [3] (программы «GSAS» и «FullProf»).

После выбора формальных критериев качества модели и варьируемых параметров модели, проблема уточнения представляет собой задачу минимизации функции большого числа переменных. Параметры модели уточняются путем сопоставления интенсивностей непосредственно в каждой точке  $2\theta$  - пространства дифрактограммы. Следует отметить, что минимизируемая функция имеет большое число почти равноценных минимумов, и в силу экспериментальных ошибок и несовершенства кинематической теории правильному решению может отвечать не самый глубокий минимум. Поэтому ставится задача локальной минимизации выбранных функционалов.

Для оценки качества проведенного уточнения и правильности выбранной модели используется числовые значения таких критериев, как факторов расходимости:

$$\text{профильный } R_p = \sum |Y_{0i} - Y_{ic}| / |Y_{0i}| * 100;$$

$$\text{весовой профильный } R_{wp} = \left[ \sum \omega_i (Y_{0i} - Y_{ic})^2 / \sum \omega_i Y_{0i}^2 \right]^{1/2} * 100; \quad \text{ожидаемый}$$

$$R_e = [(N - P) / (\sum \omega_i Y_{0i}^2)]^{1/2} * 100; \quad \text{Брэгговский } R_b = \sum |Y_{ki} - Y_{kc}| / |Y_{ki}| * 100, \quad \text{где } N - \text{число эксперимен-}$$

тально измеренных точек,  $P$  – число уточняемых параметров,  $Y_{ki}$  и  $Y_{kc}$  – экспериментальное и расчетное значения интегральной интенсивности брэгговских отражений, соответственно.

Структура суперионного проводника нестехиометрического состава  $\text{Cu}_{1.75}\text{Se}$ , принадлежавшая к кубической фазе, рассчитывалась методом полнопрофильного анализа с помощью программы GSAS.

Результаты уточнения координат, тепловых факторов, коэффициентов кратности и заселенности приводятся в таблице 1.

Таблица 1

№	Тип	$\text{Cu}_{1.75}\text{Se}$ ( $a=5.74(7)\text{\AA}$ ) сингония: кубическая $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$			Заселенность (FRAC)	Тепл. парам. (UIISO)	Крат. (mult)	Rp %
		x	y	z				
1	Se	0	0	0	1	0.0439	4	7,4
2	Cu	0.2182	0.2182	0.2182	0.1989	0.0114	32	
3	Cu	0.4095	0.4095	0.4095	0.0198	0.0087	32	

На рис. 1 представлены экспериментальные, рассчитанные рентгенограммы и разностные кривые для этого состава.

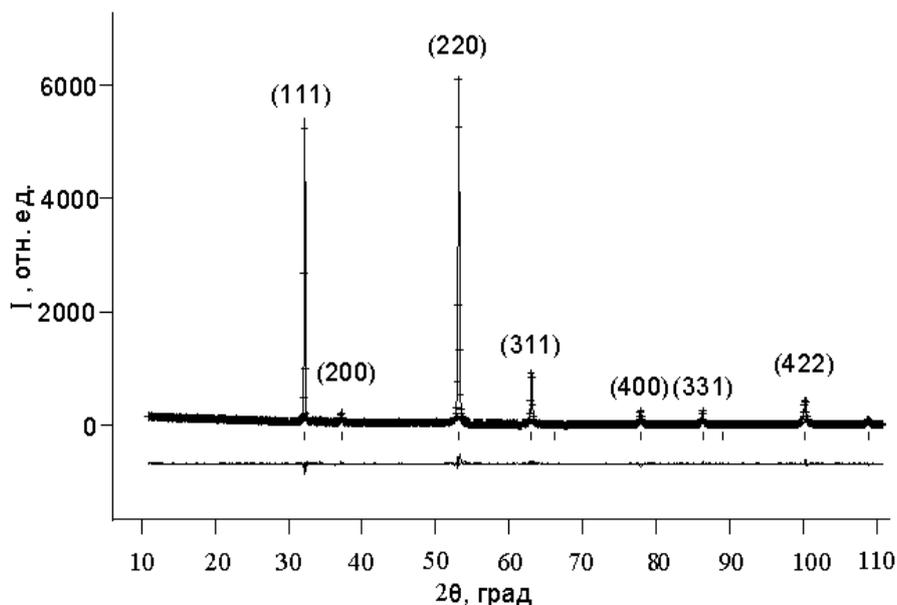


Рис. 1. Экспериментальные, рассчитанные рентгенограммы и разностные кривые для состава  $\text{Cu}_{1.75}\text{Se}$

Полнопрофильный анализ, позволяющий определить и уточнить атомно-кристаллическую структуру поликристаллических материалов, играет значительную роль в установлении фундаментальных связей между составом, строением, характеристиками свойств и условиями получения соединений.

Литература.

1. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный анализ. Индексирование рентгенограмм. Справочное руководство. – М.: Наука, 1981.– 496 с.
2. Порай-Кошиц М.А. Основы структурного анализа химических соединений, М.: Высшая школа, 1982– 175 с.
3. Rietveld H.M.. J.Appl.Cryst., 1969, V.2, p.69.

### **ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ**

*А.А. Ёрматов, студент гр. 10А41, В.А. Журавлев, ст. преп.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: df1999@mail.ru*

В истории математики традиционно выделяются несколько этапов развития математических знаний:

1. Формирование понятия геометрической фигуры и числа как идеализации реальных объектов и множеств однородных объектов. Появление счёта и измерения, которые позволили сравнивать различные числа, длины, площади и объёмы.

2. Изобретение арифметических операций. Накопление эмпирическим путём (методом проб и ошибок) знаний о свойствах арифметических действий, о способах измерения площадей и объёмов простых фигур и тел. В этом направлении далеко продвинулись шумеро-вавилонские, китайские и индийские математики древности.

3. Появление в древней Греции дедуктивной математической системы, показавшей, как получать новые математические истины на основе уже имеющихся. Венцом достижений древнегреческой математики стали «Начала» Евклида, игравшие роль стандарта математической строгости в течение двух тысячелетий.

4. Математики стран ислама не только сохранили античные достижения, но и смогли осуществить их синтез с открытиями индийских математиков, которые в теории чисел продвинулись дальше греков.

5. В XVI–XVIII веках возрождается и уходит далеко вперёд европейская математика. Её концептуальной основой в этот период являлась уверенность в том, что математические модели являются своего рода идеальным скелетом Вселенной, и поэтому открытие математических истин является одновременно открытием новых свойств реального мира. Главным успехом на этом пути стала разработка математических моделей зависимости переменных величин (функция) и общая теория движения (анализ бесконечно малых). Все естественные науки были перестроены на базе новооткрытых математических моделей, и это привело к колоссальному их прогрессу.

6. В XIX–XX веках становится понятно, что взаимоотношение математики и реальности далеко не столь просто, как ранее казалось. Не существует общепризнанного ответа на своего рода «основной вопрос философии математики»: найти причину «непостижимой эффективности математики в естественных науках». В этом, и не только в этом, отношении математики разделились на множество дискутирующих школ. Наметилось несколько опасных тенденций: чрезмерно узкая специализация, изоляция от практических задач и др. В то же время мощь математики и её престиж, поддержанный эффективностью применения, высоки как никогда прежде.

Помимо большого исторического интереса, анализ эволюции математики представляет огромную важность для развития философии и методологии математики. Нередко знание истории способствует и прогрессу конкретных математических дисциплин; например, древняя китайская задача (теорема) об остатках сформировала целый раздел теории чисел.

Самой древней математической деятельностью был счёт. Счёт был необходим, чтобы следить за поголовьем скота и вести торговлю. Некоторые первобытные племена подсчитывали количество предметов, сопоставляя им различные части тела, главным образом пальцы рук и ног. Наскальный рисунок, сохранившийся до наших времен от каменного века, изображает число 35 в виде серии выстроенных в ряд 35 палочек-пальцев. Первыми существенными успехами в арифметике стали концептуализация числа и изобретение четырех основных действий: сложения, вычитания, умножения и деления. Первые достижения геометрии связаны с такими простыми понятиями, как прямая и окружность. Дальнейшее развитие математики началось примерно в 3000 до н.э. благодаря вавилонянам и египтянам.

Вавилонское царство возникло в начале II тысячелетия до н. э. на территории современного Ирака, придя на смену Шумеру и Аккаду и унаследовав их развитую культуру. Просуществовало до персидского завоевания в 539 году до н. э.

Вавилоняне писали клинописными значками на глиняных табличках, которые в немалом количестве дошли до наших дней (более 500000, из них около 400 связаны с математикой). Поэтому мы имеем довольно полное представление о математических достижениях учёных Вавилонского госу-

дарства. Отметим, что корни культуры вавилонян были в значительной степени унаследованы от шумеров – клинописное письмо, счётная методика и т.п.

Вавилонские математические тексты носят преимущественно учебный характер. Из них видно, что вавилонская расчётная техника была намного совершеннее египетской, а круг решаемых задач существенно шире. Есть задачи на решение уравнений второй степени, геометрические прогрессии. При решении применялись пропорции, средние арифметические, проценты. Методы работы с прогрессиями были глубже, чем у египтян. Линейные и квадратные уравнения решались ещё в эпоху Хаммурапи (он правил в 1793–1750 годах до н. э.); при этом использовалась геометрическая терминология (произведение  $ab$  называлось площадью,  $abc$  – объёмом, и т. д.). Многие значки для одночленов были шумерскими, из чего можно сделать вывод о древности этих алгоритмов; эти значки употреблялись, как буквенные обозначения неизвестных в нашей алгебре. Встречаются также кубические уравнения и системы линейных уравнений. Венцом планиметрии была теорема Пифагора; Ван дер Варден считает, что вавилоняне открыли её между 2000 и 1786 годами до н. э.

Как и в египетских текстах, излагается только алгоритм решения (на конкретных примерах), без комментариев и доказательств. Однако анализ алгоритмов показывает, что общая математическая теория у вавилонян несомненно была.

Вавилония и Египет. Вавилония. Источником наших знаний о вавилонской цивилизации служат хорошо сохранившиеся глиняные таблички, покрытые т.н. клинописными текстами, которые датируются от 2000 до н.э. и до 300 н.э. Математика на клинописных табличках в основном была связана с ведением хозяйства. Арифметика и нехитрая алгебра использовались при обмене денег и расчетах за товары, вычислении простых и сложных процентов, налогов и доли урожая, сдаваемой в пользу государства, храма или землевладельца. Многочисленные арифметические и геометрические задачи возникали в связи со строительством каналов, зернохранилищ и другими общественными работами. Очень важной задачей математики был расчет календаря, поскольку календарь использовался для определения сроков сельскохозяйственных работ и религиозных праздников. Деление окружности на 360, а градуса и минуты на 60 частей берут начало в вавилонской астрономии.

Около 700 до н.э. вавилоняне стали применять математику для исследования движений Луны и планет. Это позволило им предсказывать положения планет, что было важно как для астрологии, так и для астрономии.

В геометрии вавилоняне знали о таких соотношениях, например, как пропорциональность соответствующих сторон подобных треугольников. Им была известна теорема Пифагора и то, что угол, вписанный в полуокружность – прямой. Они располагали также правилами вычисления площадей простых плоских фигур, в том числе правильных многоугольников, и объемов простых тел.

Египет. Наше знание древнеегипетской математики основано главным образом на двух папирусах, датируемых примерно 1700 до н.э. Излагаемые в этих папирусах математические сведения восходят к еще более раннему периоду – ок. 3500 до н.э. Египтяне использовали математику, чтобы вычислять вес тел, площади посевов и объемы зернохранилищ, размеры податей и количество камней, требуемое для возведения тех или иных сооружений. В папирусах можно найти также задачи, связанные с определением количества зерна, необходимого для приготовления заданного числа кружек пива, а также более сложные задачи, связанные с различием в сортах зерна; для этих случаев вычислялись переводные коэффициенты.

Но главной областью применения математики была астрономия, точнее расчеты, связанные с календарем. Календарь использовался для определения дат религиозных праздников и предсказания ежегодных разливов Нила. Однако уровень развития астрономии в Древнем Египте намного уступал уровню ее развития в Вавилоне.

Геометрия у египтян сводилась к вычислениям площадей прямоугольников, треугольников, трапеций, круга, а также формулам вычисления объемов некоторых тел. Надо сказать, что математика, которую египтяне использовали при строительстве пирамид, была простой и примитивной.

Классическая Греция. С точки зрения 20 в. родоначальниками математики явились греки классического периода (6-4 вв. до н.э.). Математика, существовавшая в более ранний период, была набором эмпирических заключений. Напротив, в дедуктивном рассуждении новое утверждение выводится из принятых посылок способом, исключавшим возможность его неприятия.

Греческая система счисления была основана на использовании букв алфавита. Аттическая система, бывшая в ходу с 6-3 вв. до н.э., использовала для обозначения единицы вертикальную черту, а для обозначения чисел 5, 10, 100, 1000 и 10 000 начальные буквы их греческих названий. В более

поздней ионической системе счисления для обозначения чисел использовались 24 буквы греческого алфавита и три архаические буквы. Кратные 1000 до 9000 обозначались так же, как первые девять целых чисел от 1 до 9, но перед каждой буквой ставилась вертикальная черта. Десятки тысяч обозначались буквой М (от греческого *мириои* – 10 000), после которой ставилось то число, на которое нужно было умножить десять тысяч.

Дедуктивный характер греческой математики полностью сформировался ко времени Платона и Аристотеля. Изобретение дедуктивной математики принято приписывать Фалесу Милетскому (ок. 640–546 до н.э.), который, как и многие древнегреческие математики классического периода, был также философом. Высказывалось предположение, что Фалес использовал дедукцию для доказательства некоторых результатов в геометрии, хотя это сомнительно.

Другим великим греком, с чьим именем связывают развитие математики, был Пифагор (ок. 585–500 до н.э.). Полагают, что он мог познакомиться с вавилонской и египетской математикой во время своих долгих странствий. Пифагор основал движение, расцвет которого приходится на период ок. 550–300 до н.э. Пифагорейцы создали чистую математику в форме теории чисел и геометрии. Целые числа они представляли в виде конфигураций из точек или камешков, классифицируя эти числа в соответствии с формой возникающих фигур («фигурные числа»). Слово «калькуляция» (расчет, вычисление) берет начало от греческого слова, означающего «камешек». Числа 3, 6, 10 и т.д. пифагорейцы называли треугольными, так как соответствующее число камешков можно расположить в виде треугольника, числа 4, 9, 16 и т.д. – квадратными, так как соответствующее число камешков можно расположить в виде квадрата, и т.д.

Древние греки решали уравнения с неизвестными посредством геометрических построений. Были разработаны специальные построения для выполнения сложения, вычитания, умножения и деления отрезков, извлечения квадратных корней из длин отрезков; ныне этот метод называется геометрической алгеброй.

Приведение задач к геометрическому виду имело ряд важных последствий. В частности, числа стали рассматриваться отдельно от геометрии, поскольку работать с несоизмеримыми отношениями можно было только с помощью геометрических методов. Геометрия стала основой почти всей строгой математики по крайней мере до 1600. И даже в 18 в., когда уже были достаточно развиты алгебра и математический анализ, строгая математика трактовалась как геометрия, и слово «геометр» было равнозначно слову «математик».

Именно пифагорейцам мы во многом обязаны той математикой, которая затем была систематизирована изложена и доказана в Началах Евклида. Есть основания полагать, что именно они открыли то, что ныне известно как теоремы о треугольниках, параллельных прямых, многоугольниках, окружностях, сферах и правильных многогранниках.

Одним из самых выдающихся пифагорейцев был Платон (ок. 427–347 до н.э.). Платон был убежден, что физический мир постижим лишь посредством математики. Считается, что именно ему принадлежит заслуга изобретения аналитического метода доказательства.

Преимниками греков в истории математики стали индийцы. Индийские математики не занимались доказательствами, но они ввели оригинальные понятия и ряд эффективных методов. Именно они впервые ввели ноль и как кардинальное число, и как символ отсутствия единиц в соответствующем разряде. Махавира (850 н.э.) установил правила операций с нулем, полагая, однако, что деление числа на ноль оставляет число неизменным. Правильный ответ для случая деления числа на ноль был дан Бхаскарой (р. в 1114), ему же принадлежат правила действий над иррациональными числами. Индийцы ввели понятие отрицательных чисел (для обозначения долгов). Самое раннее их использование мы находим у Брахмагупты (ок. 630). Ариабхата (р. 476) пошел дальше Диофанта в использовании непрерывных дробей при решении неопределенных уравнений.

Наша современная система счисления, основанная на позиционном принципе записи чисел и нуля как кардинального числа и использовании обозначения пустого разряда, называется индо-арабской. На стене храма, построенного в Индии ок. 250 до н.э., обнаружено несколько цифр, напоминающих по своим очертаниям наши современные цифры.

Около 800 индийская математика достигла Багдада. Термин «алгебра» происходит от начала названия книги Аль-джебрва-л-мукабала (Восполнение и противопоставление), написанной в 830 астрономом и математиком аль-Хорезми. В своем сочинении он воздавал должное заслугам индийской математики. Алгебра аль-Хорезми была основана на трудах Брахмагупты, но в ней явно различимы вавилонское и греческое влияния. Другой выдающийся арабский математик Ибн аль-

Хайсам (ок. 965–1039) разработал способ получения алгебраических решений квадратных и кубических уравнений. Арабские математики, в их числе и Омар Хайям, умели решать некоторые кубические уравнения с помощью геометрических методов, используя конические сечения. Арабские астрономы ввели в тригонометрию понятие тангенса и котангенса. Насирэддин Туси (1201–1274) в Трактате о полном четырехугольнике систематически изложил плоскую и сферическую геометрии и первым рассмотрел тригонометрию отдельно от астрономии.

И все же самым важным вкладом арабов в математику стали их переводы и комментарии к великим творениям греков. Европа познакомилась с этими работами после завоевания арабами Северной Африки и Испании, а позднее труды греков были переведены на латынь.

#### Средние века и Возрождение

Средневековая Европа. Римская цивилизация не оставила заметного следа в математике, поскольку была слишком озабочена решением практических проблем. Цивилизация, сложившаяся в Европе раннего Средневековья (ок. 400–1100), не была продуктивной по прямо противоположной причине: интеллектуальная жизнь сосредоточилась почти исключительно на теологии и загробной жизни. Уровень математического знания не поднимался выше арифметики и простых разделов из Начал Евклида. Наиболее важным разделом математики в Средние века считалась астрология; астрологов называли математиками. А поскольку медицинская практика основывалась преимущественно на астрологических показаниях или противопоказаниях, медикам не оставалось ничего другого, как стать математиками.

Около 1100 в западноевропейской математике начался почти трехвековой период освоения сохраненного арабами и византийскими греками наследия Древнего мира и Востока. Поскольку арабы владели почти всеми трудами древних греков, Европа получила обширную математическую литературу. Перевод этих трудов на латынь способствовал подъему математических исследований. Все великие ученые того времени признавали, что черпали вдохновение в трудах греков.

Первым заслуживающим упоминания европейским математиком стал Леонардо Пизанский (Фибоначчи). В своем сочинении Книга абака (1202) он познакомил европейцев с индо-арабскими цифрами и методами вычислений, а также с арабской алгеброй. В течение следующих нескольких веков математическая активность в Европе ослабла. Свод математических знаний той эпохи, составленный Лукой Пачоли в 1494, не содержал каких-либо алгебраических новшеств, которых не было у Леонардо.

Возрождение. Среди лучших геометров эпохи Возрождения были художники, развившие идею перспективы, которая требовала геометрии со сходящимися параллельными прямыми. Художник Леон Баттиста Альберти (1404–1472) ввел понятия проекции и сечения. Прямолинейные лучи света от глаза наблюдателя к различным точкам изображаемой сцены образуют проекцию; сечение получается при прохождении плоскости через проекцию. Чтобы нарисованная картина выглядела реалистической, она должна была быть таким сечением. Понятия проекции и сечения порождали чисто математические вопросы. Например, какими общими геометрическими свойствами обладают сечение и исходная сцена, каковы свойства двух различных сечений одной и той же проекции, образованных двумя различными плоскостями, пересекающими проекцию под различными углами? Из таких вопросов и возникла проективная геометрия. Ее основатель – Ж. Дезарг (1593–1662) с помощью доказательств, основанных на проекции и сечении, унифицировал подход к различным типам конических сечений, которые великий греческий геометр Аполлоний рассматривал отдельно.

#### Начало современной математики

Наступление 16 в. в Западной Европе ознаменовалось важными достижениями в алгебре и арифметике. Были введены в обращение десятичные дроби и правила арифметических действий с ними. Настоящим триумфом стало изобретение в 1614 логарифмов Дж. Непером. К концу 17 в. окончательно сложилось понимание логарифмов как показателей степени с любым положительным числом, отличным от единицы, в качестве основания. С начала 16 в. более широко стали употребляться иррациональные числа. Б. Паскаль (1623–1662) и И. Барроу (1630–1677), учитель И. Ньютона в Кембриджском университете, утверждали, что такое число, как  $\sqrt{3}$ , можно трактовать лишь как геометрическую величину. Однако в те же годы Р. Декарт (1596–1650) и Дж. Валлис (1616–1703) считали, что иррациональные числа допустимы и сами по себе, без ссылок на геометрию. В 16 в. продолжались споры по поводу законности введения отрицательных чисел. Еще менее приемлемыми считались возникавшие при решении квадратных уравнений комплексные числа, такие как,  $5 + \sqrt{-5}$  названные Декартом «мнимыми». Эти числа были под подозрением даже в 18 в., хотя Л. Эйлер (1707–

1783) с успехом пользовался ими. Комплексные числа окончательно признали только в начале 19 в., когда математики освоились с их геометрическим представлением.

Достижения в алгебре. В 16 в. итальянские математики Н.Тарталья (1499–1577), С.Даль Ферро (1465–1526), Л.Феррари (1522–1565) и Д. Кардано (1501–1576) нашли общие решения уравнений третьей и четвертой степеней. Чтобы сделать алгебраические рассуждения и их запись более точными, было введено множество символов, в том числе  $+$ ,  $-$ ,  $?$ ,  $\sqrt{\quad}$ ,  $=$ ,  $>$  и  $<$ . Самым существенным новшеством стало систематическое использование французским математиком Ф.Виетом (1540–1603) букв для обозначения неизвестных и постоянных величин. Это нововведение позволило ему найти единый метод решения уравнений второй, третьей и четвертой степеней. Затем математики обратились к уравнениям, степени которых выше четвертой. Работая над этой проблемой, Кардано, Декарт и И.Ньютон (1643–1727) опубликовали (без доказательств) ряд результатов, касающихся числа и вида корней уравнения. Ньютон открыл соотношение между корнями и дискриминантом  $[b^2 - 4ac]$  квадратного уравнения, а именно, что уравнение  $ax^2 + bx + c = 0$  имеет равные действительные, разные действительные или комплексно сопряженные корни в зависимости оттого, будет ли дискриминант  $b^2 - 4ac$  равен нулю, больше или меньше нуля. В 1799 К.Фридрих Гаусс (1777–1855) доказал т.н. основную теорему алгебры: каждый многочлен  $n$ -й степени имеет ровно  $n$  корней.

Основная задача алгебры – поиск общего решения алгебраических уравнений – продолжала занимать математиков и в начале 19 в. Когда говорят об общем решении уравнения второй степени  $ax^2 + bx + c = 0$ , имеют в виду, что каждый из двух его корней может быть выражен с помощью конечного числа операций сложения, вычитания, умножения, деления и извлечения корней, производимых над коэффициентами  $a$ ,  $b$  и  $c$ . Молодой норвежский математик Н.Абель (1802–1829) доказал, что невозможно получить общее решение уравнения степени выше 4 с помощью конечного числа алгебраических операций. Однако существует много уравнений специального вида степени выше 4, допускающих такое решение. Накануне своей гибели на дуэли юный французский математик Э.Галуа (1811–1832) дал решающий ответ на вопрос о том, какие уравнения разрешимы в радикалах, т.е. корни каких уравнений можно выразить через их коэффициенты в помощью конечного числа алгебраических операций. В теории Галуа использовались подстановки или перестановки корней и было введено понятие группы, которое нашло широкое применение во многих областях математики.

Развитие теории групп служит хорошим примером преемственности творческой работы в математике. Галуа построил свою теорию, опираясь на работу Абеля, Абель опирался на работу Ж.Лагранжа (1736–1813). В свою очередь многие выдающиеся математики, в том числе Гаусс и А.Лежандр (1752–1833) в своих работах неявно использовали понятие группы. Ньютон не был чрезмерно скромным, когда заявил: «Если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов».

Аналитическая геометрия. Аналитическая, или координатная, геометрия была создана независимо П.Ферма (1601–1665) и Р.Декартом для того, чтобы расширить возможности евклидовой геометрии в задачах на построение. Однако Ферма рассматривал свои работы лишь как переформулировку сочинения Аполлония. Подлинное открытие – осознание всей мощи алгебраических методов – принадлежит Декарту. Евклидова геометрическая алгебра для каждого построения требовала изобретения своего оригинального метода и не могла предложить количественную информацию, необходимую науке. Декарт решил эту проблему: он формулировал геометрические задачи алгебраически, решал алгебраическое уравнение и лишь затем строил искомое решение – отрезок, имевший соответствующую длину. Собственно аналитическая геометрия возникла, когда Декарт начал рассматривать неопределенные задачи на построение, решениями которых является не одна, а множество возможных длин.

Аналитическая геометрия использует алгебраические уравнения для представления и исследования кривых и поверхностей. Декарт считал приемлемой кривую, которую можно записать с помощью единственного алгебраического уравнения относительно  $x$  и  $y$ . Такой подход был важным шагом вперед, ибо он не только включил в число допустимых такие кривые, как конхоида и циссоида, но также существенно расширил область кривых. В результате в 17–18 вв. множество новых важных кривых, таких как циклоида и цепная линия, вошли в научный обиход.

По-видимому, первым математиком, который воспользовался уравнениями для доказательства свойств конических сечений, был Дж. Валлис. К 1865 он алгебраическим путем получил все результаты, представленные в V книге Начал Евклида.

Аналитическая геометрия полностью поменяла ролями геометрию и алгебру. Как заметил великий французский математик Лагранж, «пока алгебра и геометрия двигались каждая своим путем,

их прогресс был медленным, а приложения ограниченными. Но когда эти науки объединили свои усилия, они позаимствовали друг у друга новые жизненные силы и с тех пор быстрыми шагами направились к совершенству».

Неевклидова геометрия. К 1800 математика покоилась на двух «китах» – на числовой системе и евклидовой геометрии. Так как многие свойства числовой системы доказывались геометрически, евклидова геометрия была наиболее надежной частью здания математики. Тем не менее аксиома о параллельных содержала утверждение о прямых, простирающихся в бесконечность, которое не могло быть подтверждено опытом. Даже версия этой аксиомы, принадлежащая самому Евклиду, вовсе не утверждает, что какие-то прямые не пересекутся. В ней скорее формулируется условие, при котором они пересекутся в некоторой конечной точке. Столетиями математики пытались найти аксиоме о параллельных соответствующую подходящую замену. Но в каждом варианте непременно оказывался какой-нибудь пробел. Честь создания неевклидовой геометрии выпала Н.И.Лобачевскому (1792–1856) и Я. Бойяи (1802–1860), каждый из которых независимо опубликовал свое собственное оригинальное изложение неевклидовой геометрии. В их геометриях через данную точку можно было провести бесконечно много параллельных прямых. В геометрии Б.Римана (1826–1866) через точку вне прямой нельзя провести ни одной параллельной.

О физических приложениях неевклидовой геометрии никто серьезно не помышлял. Создание А.Эйнштейном (1879–1955) общей теории относительности в 1915 пробудило научный мир к осознанию реальности неевклидовой геометрии.

Неевклидова геометрия стала наиболее впечатляющим интеллектуальным свершением 19 в. Она, ясно продемонстрировала, что математику нельзя более рассматривать как свод непререкаемых истин. В лучшем случае математика может гарантировать достоверность доказательства на основе недостоверных аксиом. Но зато математики впредь обрели свободу исследовать любые идеи, которые могли показаться им привлекательными. Каждый математик в отдельности был теперь волен вводить свои собственные новые понятия и устанавливать аксиомы по своему усмотрению, следя лишь за тем, чтобы проистекающие из аксиом теоремы не противоречили друг другу. Грандиозное расширение круга математических исследований в конце прошлого века по существу явилось следствием этой новой свободы.

Математическая строгость. Примерно до 1870 математики пребывали в убеждении, что действуют по предначертаниям древних греков, применяя дедуктивные рассуждения к математическим аксиомам, тем самым обеспечивая своими заключениями не меньшую надежность, чем та, которой обладали аксиомы. Неевклидова геометрия и кватернионы (алгебра, в которой не выполняется свойство коммутативности) заставили математиков осознать, что то, что они принимали за абстрактные и логически непротиворечивые утверждения, в действительности зиждется на эмпирическом и прагматическом базисе.

Создание неевклидовой геометрии сопровождалось также осознанием существования в евклидовой геометрии логических пробелов. Одним из недостатков евклидовых Начал было использование допущений, не сформулированных в явном виде. По-видимому, Евклид не подвергал сомнению те свойства, которыми обладали его геометрические фигуры, но эти свойства не были включены в его аксиомы. Кроме того, доказывая подобие двух треугольников, Евклид воспользовался наложением одного треугольника на другой, неявно предполагая, что при движении свойства фигур не изменяются. Но кроме таких логических пробелов, в Началах оказалось и несколько ошибочных доказательств.

Если математику, известную до 1600, можно охарактеризовать как элементарную, то по сравнению с тем, что было создано позднее, эта элементарная математика бесконечно мала. Расширились старые области и появились новые, как чистые, так и прикладные отрасли математических знаний. Выходят около 500 математических журналов. Огромное количество публикуемых результатов не позволяет даже специалисту ознакомиться со всем, что происходит в той области, в которой он работает, не говоря уже о том, что многие результаты доступны пониманию только специалиста узкого профиля. Ни один математик сегодня не может надеяться знать больше того, что происходит в очень маленьком уголке науки.

Литература.

1. Ван-дер-Варден Б.Л. Пробуждающаяся наука. Математика Древнего Египта, Вавилона и Греции. М., 1959.
2. Юшкевич А.П. История математики в средние века. М., 1961.
3. Даан-Дальмедико А., Пейффер Ж. Пути и лабиринты. Очерки по истории математики. М., 1986.
4. Клейн Ф. Лекции о развитии математики в XIX столетии. М., 1989.

## МАТЕМАТИКА И ТАНЕЦ

*А.А. Алибова, студент гр. 17Б30,*

*научный руководитель: Князева О.Г., ст. преподаватель*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: ms.alibova@mail.ru*

С самого рождения нас окружает мир точных расчетов. Мы настолько сроднились с математикой, что попросту не замечаем ее. Первоначальное значение слова "математика" (от греч. mathema - знание, наука, в частности, на латыни arsmathematica, означает искусство математики) не утрачено и сегодня, она остается символом мудрости, царицей всех наук. Красота математики среди наук очень велика, а красота является одним из связующих звеньев науки и искусства. Из многих искусств, с которыми взаимодействует математика, я решила выбрать хореографию.

С самых древнейших веков в жизни человека присутствует танец. У первобытных людей любовь, труд и обряд воплощаются в танцевальных движениях. Каждый из нас хоть однажды танцевал или смотрел на исполнение танца. Какое это завораживающее зрелище! Часто говорят: "Танец — это тайный язык души". Но ведь никто не задумывался, сколько в этом тайном языке математики!

В школе каждый ученик занимается математикой, вне школы многие увлекаются танцами. Не секрет, что школьники, способные в технических дисциплинах, несколько пренебрежительно относятся к физическим нагрузкам, считают легкомысленным тратить на них время. В то же время люди, занимающиеся танцами, зачастую не считают нужным уделять лишнее время занятию математикой. Взаимосвязаны ли эти, на первый взгляд, разные сферы, каковы точки их соприкосновения?

Танец - вид искусства, в котором художественный образ создается посредством ритмичных пластических движений и смены выразительных положений человеческого тела.

### ***Танец и графики функций***

Создать красивый танец невозможно без графиков математических функций. Красивый танец - это красивый график, который можно записать математической формулой.

Движения - это изменения плоскости, при которых сохраняются размеры и форма объектов. Примеры движений - симметрия, параллельный перенос и поворот. Такие геометрические движения имеют место во многих танцевальных постановках.

Симметрию в танце составляют: Использование в рисунке танца фигур, имеющих центр или ось симметрии; уравновешенное расположение тела танцора; месторасположение танцоров в пространстве; одновременное исполнение танцорами одного и того же движения. Симметрия позволяет сделать рисунок танца красивым и синхронным, помогает создать гармоничный дизайн пространства.

В 17 веке француз Рауль Фейе создал систему записи элементов классического танца. В ней широко применяются математические термины, например, поворот на заданный угол.

Танец может рассматриваться как создание рисунков в пространстве, в том числе состоящих из геометрических фигур. Рисунок танца - это расположение и перемещение танцующих по сценической площадке. Рисунок танца зависит от замысла номера, его идеи, музыкального материала, ритма, темпа, национальной принадлежности танца.

Круг: в русских танцах движение по кругу и круговые построения хороводов связаны со старинными языческими обрядами славян и их преклонением перед богом солнца Ярилой. В молдавских танцах круг является основной фигурой из-за места, где проводили народные гуляния. Синусоида (змейка, серпантин): в итальянских танцах характеризует непринужденность карнавального веселья. В русских хороводах несет более лирический характер, который часто переходит в торжественный.

Прямоугольник, каре: эти фигуры стали основными в рисунке белорусских народных танцев, так как эти танцы проводились обычно в помещениях, имеющих прямоугольную или квадратную форму. В русских народных танцах прямоугольник является основной фигурой кадрили, где каждая фигура начинается из четырех углов сцены и заканчивается там.

Американский хореограф Уильям Форсайт создал танцевальную технику, которую назвал «Геометрия танца», или «Технология импровизации». Техника «Геометрия танца» Работая в данной технике, танцор рисует в воздухе воображаемые геометрические фигуры, а затем протаскивает свои конечности через эту сложную и невидимую геометрию. Получилось новое интересное направление в современном танце.

Танец пчел. Математика присутствует и в танце пчел. Чтобы обозначить расположение источника пищи, слишком отдаленного от улья, и показать его другим пчелам, пчела-разведчик танцует на сотах внутри улья. Танцами пчелы сообщают о расстоянии до источника корма, о направлении полета к цветам.

Танец планет Планеты в небе двигаются в изящных орбитальных моделях, танцуя под музыку космоса. В этих движениях присутствует математическая гармония. Если взять орбиты двух планет и провести линию между двумя положениями планеты за каждые несколько дней, образуются интересные модели, так как планета, двигающаяся по внутренней орбите, двигается более быстро, чем та, которая движется по внешней орбите.

Каждая пара планет имеет свой собственный ритм танца. Например, танец Земли и Венеры возвращается к первоначальному положению через 8 земных лет или 13 лет Венеры. За 8 лет наблюдений за этим танцем создается красивый цветок с 5 лепестками. 8, 13, 5 – числа Фибоначчи.

Танец и интеллект Доказано, что танцы благотворно влияют на умственные способности человека. Во время танца надо постоянно думать, думать о каждом виде движения, порядке, ритме. Связывая элементы танца, мы выстраиваем логические цепочки. Развивается пространственное воображение. Танцы - хороший способ тренировки интеллекта!

Школьники, прошедшие годовой курс обучения танцам, лучше сдают контрольные работы по геометрии, чем никогда не танцевавшие. (Гарвардский университет, США). Профессиональные танцоры лучше выполняют тесты на внимание. (Исследования в Канаде). Регулярно танцующие пожилые люди на 76% реже страдают старческим слабоумием. (Медицинский колледж имени Эйнштейна, Нью-Йорк).

Гипотеза: Танцы и математика имеют точки соприкосновения. Если применять математику, можно достичь в танцах интересных результатов.

В рамках исследования была выявлена математическая составляющая танца. Танец содержит фигуры, дроби, пропорции. Еще один факт, подтверждающий связь танца и математики, - это использование общих терминов: линии, диагонали, в рисунке танца могут располагаться параллельно или перпендикулярно, симметрично или асимметрично. Кроме видимых геометрических фигур и алгебраических форм у танцующего всегда присутствует ощущение равновесия, центра, то есть танцор находится в системе координат. За танцевальной пластикой можно увидеть не только создание поз, геометрических фигур, рисунка, но и точный математический расчет силы прыжка, количество поворотов в туре, длины и ширины шага. Поскольку математическая наука связана с понятием алгоритма («шаг за шагом»), и последовательностью, то получается, что танец и математика связаны общим атрибутом - «шагом». Танцевальный шаг - это и последовательность, и порядок движений. Математическая составляющая танца не только видима, но и ощущаема.

Невозможно одной геометрией измерить красоту и гармонию танца. Вместе с тем именно геометрия помогает танцорам найти новые совершенные фигуры, разнообразить рисунок танца. А так же по данным физиологов из Гарвардского университета (США), школьники, прошедшие годовой курс обучения танцам, лучше сдают контрольные по геометрии, чем никогда не танцевавшие или получившие лишь несколько уроков танца. Исследование, проведенное в Канаде, показало, что профессиональные танцоры лучше выполняют тесты на внимание, чем танцоры-любители или вовсе неумеющие танцевать. Начать заниматься танцами никогда не поздно. В многолетнем исследовании, проводившемся в Медицинском колледже имени Эйнштейна в Нью-Йорке, показано, что пожилые люди, регулярно танцующие, на 76% реже впадают в старческое слабоумие по сравнению с никогда не танцующими. При этом регулярное чтение эффективно для предотвращения слабоумия всего на 35%, решение кроссвордов – на 47%, а занятия спортом не помогают совсем.

Литература.

1. <http://mathemlib.ru/>
2. Волошинов А.В «Математика и искусство» - М.: «Просвещение» 2000 г.

## **ЗАВИСИМОСТЬ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА ОТ МАТЕМАТИКИ**

*Н.В. Аржанникова, студентка группы 17Б30,*

*научный руководитель: Князева О.Г., ст. преподаватель*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: ninaarzhannikova@mail.ru*

Как уже известно, математики играет важнейшую роль в разных областях нашей жизнедеятельности, так же математическая наука может работать в совокупности с различными гуманитарными науками, а не только точными, как, например архитектура.

Такое понятие как «архитектура» имеет несколько смыслов. Архитектура является древнейшей сферой человеческой деятельности. Главный смысл которого состоит в совокупности зданий и

сооружений различного назначения, пространства, созданного человеком и для человека. Она зарождалась и развивалась вместе с развитием человека. А без математики невозможна их реализация, «математика – главный путеводитель к архитектуре» [1].

Цель работы – изучить и рассмотреть влияние математики в таких областях как архитектура и строительство.

Задачи:

- 1) Изучить исторические предпосылки сотрудничества математики и архитектуры.
- 2) Исследовать взаимосвязь математической науки и архитектуры.

Архитектура триединая: она извечно сочетает в себе логику ученого, ремесло мастера и вдохновение художника. «Прочность, польза, красота» – такова знаменитая формула единого архитектурного целого, выведенная два тысячелетия тому назад (I в. до н. э.) древнеримским теоретиком зодчества Витрувием. Главная ценность архитектурных сооружений – их красота. Сооружение может быть прочным и удобным, но если оно не привлекает глаз, то оно воспринимается нами как обычное строение, а не памятник архитектуры.

С древних времен люди, строя свои жилища в первую очередь, думали, об их прочности. Не случайно и в формуле М. Витрувия именно прочность стоит на первом месте. Поэтому в первом дошедшем до нас строительном кодексе, созданным около 1800 лет до нашей эры во времена царствования вавилонского царя Хаммурапи, говорится: «Если строитель построил дом для человека, и дом, построенный им, обвалился и убил владельца, то строитель сей должен быть казнен»[2]. Известен и такой факт, что архитектор, создавший проект моста, в древние времена должен был стоять под ним, во время открытия моста и проезда по нему первого транспорта. В случае если он не выдерживал тех нагрузок, на которые был рассчитан, то его создатель будет первым, кто поплатиться за свою ошибку жизнью.

Из этого можно сделать логичный вывод, что прочность сооружений напрямую зависела от безопасности людей, пользовавшихся ими. Прочность была связана и с долговечностью, измеряемым временем. На возведение сооружений люди тратили не малые усилия, а следовательно, были заинтересованы в прочности, чтобы они прослужили как можно больше. Только благодаря этому, до нас дошли и древнегреческий Парфенон, и древнеримский Колизей. Оставим в стороне этическую сторону, поговорим о том, отчего же зависит прочность сооружения. Первым, является толщина стен. Стены в Древней Руси или Средневековой Европе. Их толщина соотносилась с пробивными возможностями орудий, которые использовали при штурме их противники. Но еще не мало важное для обеспечения прочности сооружений свойства тех материалов, из которых они сооружены. Примером того является сказка о трех поросятах, знакомая нам с самого детства.

Традиционными строительными материалами на земле являлись камень – гранит, мрамор, песчаник и многие другие.

В России, где главным природным ресурсом является лес, большинство зданий изначально строилось именно из него. Что не теряет своей актуальности и в наши дни, считая его самым натуральным строительным материалом.

Так же вспомним, что, к примеру, в древних Китае и Японии, был весьма распространен бамбук в качестве строительного материала.

Становится очевидно, что для строительства люди использовали, в первую очередь, тот материал, который был в свободном доступе. Однако это не всегда говорило о его прочности. В отличие от камня, который до сих пор является самым прочным материалом. Более того, он обладает еще рядом замечательных свойств, которые делали его предпочтительным строительным материалом.

С развитием науки и промышленного производства человек стал создавать новые строительные материалы, которые, во-первых, были похожи на камень, а, во-вторых, превосходили его по многим характеристикам, тем самым, обеспечивая еще большую прочность сооружений. К таким относятся кирпич, железо, железобетон.

В современной архитектуре широко используются материалы, которые ранее были недоступны, сложны в применении или просто не существовали. К ним относятся пластмасса, стекло, цемент. В последнее время все более широко в архитектуре стали уделять внимание титану.

С древних времен наши предки строили себе жилища и шалаши, притом каждый стремился, что бы его творение было неповторимым и простояло как можно дольше. Методом проб люди научились складывать одни ветки на другие, так, что бы они не падали и выдерживали вес шкур их покрывающих, зрительно оценивали положение этих веток. Затем появились более формальные меры

измерения расстояний, такие как аршин, пядь и многое другое. Затем появились цифры, с помощью которых стали производиться расчеты и чертежи на бумаге.

Отрицая общественно распространенное мнение, скажем, что профессия архитектора вовсе абстрагирована от точных наук. Белее того, можно сказать, что архитектура балансирует на грани искусства и техники. Без первого архитектура превращается в работу, без второго - в бесполезные скульптуры. Не даром две тысячи лет назад древнеримский теоретик зодчества и один из создателей теории архитектуры М. Витрувий заложил в фундамент три основных правила архитектуры – это польза, прочность и красота, при этом стоит отметить что красота по Витрувию занимает совсем не первое место. В связи с этим архитектор, помимо архитектурных дисциплин, рисунков и скульптур, должен владеть и точными математическими методами совместно со знанием основных законов механики.

В Древней Греции - геометрию считали одним из разделов архитектуры. Не исчезла эта связь и по сей день. В Древней Греции архитектура развивалась очень быстро и многосторонне. В новых греческих городах создавались жилые каменные здания, укрепления, портовые сооружения, но самое важное и значительное создавалось не в жилых и хозяйственных постройках, а в каменных зданиях общественного предназначения. Именно здесь, а то есть в архитектуре храмов, зародились классические греческие архитектурные ордера.

Прямоугольное, идеально строгое и величественное сооружение, возвышающееся на трех ступенях цоколя, обнесенное строгой колоннадой и покрытое двускатной кровлей, – первое что всплывает в памяти, при слове «архитектура Древней Греции». Действительно, построенный по правилам ордера греческий храм был самой значительной постройкой в городе и по своему назначению, и по тому месту, какое занимала его архитектура во всем ансамбле города.

Архитектурные проекты представляют собой план зданий, микрорайонов, городов. При этом размер каждой дорожки, стены и окна необходимо максимально точно просчитать с учетом настоящих размеров притки или нестандартного окна. Современный архитектор должен знать различные соотношения ритмических рядов, позволяющих сделать объект наиболее гармоничным и выразительным, главными расчетными формулами при этом считаются вычисление площадей и объемов предметов, зачастую даже самых мелких, вычисление которых в ручную затруднительно. Кроме этого, он должен знать аналитическую геометрию, математический анализ, основы высшей алгебры и теорию матриц, владеть методами математического моделирования и оптимизации. Все это оправдывает себя в процессе творческих работ. Не даром при подготовке специалистов за рубежом значительное внимание уделяют математической подготовке и владению электронными вычислительными системами. В этом архитекторам помогают такие программы как ArchiCAD, строительный калькулятор Builder и др.

Иногда из-за недостаточного знания математики архитекторам приходилось делать немало лишней работы, сил и времени. Таким образом, при проектировании монумента в честь покорителей космоса (установленной у станции метро "ВДНХ") авторы выбрали наиболее изящную форму кривой, а впоследствии попытались описывать ее математически. Только представьте, какое число вариантов кривых пришлось переработать проектировщикам и сколько сил и времени затратить математикам, для получения окончательного результата. А при владении аппаратом аналитической геометрии и теории графиков, выполнение данной задачи заняло бы несколько часов, без учета компьютерных технологий.

Однако, одного знания математики для архитектора недостаточно. Ведь архитектурный проект, имеет ценность только если его можно применять на практике иначе он будет не более чем красивой картинкой. В связи с этим, специалист, занимающийся проектами различных жилых или общественных сооружений, промышленных или иных объектов должен уметь приблизительно оценить прочность и устойчивость своей работы, дабы не работать впустую и не тратить время на консультации со специалистами. А для этого необходимо знать законы сопромата, теоретической и строительной механики, владеть методами расчета конструкций. Только в этом случае можно создать полноценный и качественный архитектурный проект. Хорошее знание строительной механики поможет специалисту не только в осуществлении своего творческого замысла, но и в решении его главных задач – то есть, нахождении оригинальных и оптимальных архитектурных решений. Многие известные архитектурные сооружения мира были спроектированы не архитекторами, а инженерами, которые в основу ставили не эстетические, а конструктивные качества. А полученные в результате решения были не только технически безупречными, но и весьма привлекательными.

Так, первая в России радиобашня (затем - телебашня) на Шаболовке была спроектирована инженером В. Г. Шуховым по принципу "однополостного гиперболоида". Особенностью данной кон-

струкции является то, что все эти элементы работают только на сжатие, безопасности изгиба, что обеспечивает его легкость и прочность. Так, шуховская телебашня уже более 70 лет остается самым легким сооружением при своей высоте в мире. При всем этом легкая стержневая конструкция испытывает меньшее давление ветра, чем "большая игла" в Останкино. При всем прочем данное конструктивное решение оказалось не только прочным и устойчивым, но и весьма эстетически изящным. Ажурность скрадывает вес сооружения, придает легкость и изящество. Поэтому шуховская телебашня и поныне является одним из главных украшений г. Москвы. Еще большей известностью в мире пользуется Эйфелева башня, ставшая символом Парижа. Между тем ее автор Жак Эйфель также был не архитектором, а инженером.

Литература.

1. Маликова Р. Т. Математика в архитектуре/статья/МБОУ «Актанышская средняя общеобразовательная школа №1». Режим доступа: <http://nsportal.ru/shkola/raznoe/library/2013/04/03/matematika-v-arkhitekture>.

### КОМПЛЕКСНЫЕ ЧИСЛА В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

*Ш.З. Бомуллов, студент гр. 10А41, В.А. Журавлев, ст. преп.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: df1999@mail.ru*

Решение многих задач математики и техники приводит к квадратным уравнениям с отрицательным дискриминантом. Эти уравнения не имеют решения в области действительных чисел. Значение величин, получающихся в результате решения указанных уравнений, назвали комплексными числами. Комплексные числа широко использовал отец русской авиации Н.Е. Жуковский (1847-1921) при разработке теории крыла, автором которой он является. Комплексные числа и функции от комплексного переменного, находят применение во многих вопросах науки и техники.

Цель настоящей статьи знакомство с историей появления комплексных чисел, с действиями над комплексными числами, решение уравнений с комплексным переменным.

Определение понятия комплексные числа. Комплексные числа – расширение множества вещественных чисел, обычно обозначается  $a+bi$ . Любое комплексное число может быть представлено как формальная сумма, где  $a$  – действительная часть числа,  $bi$  – мнимая часть.

Комплексные числа образуют алгебраически замкнутое поле, это означает, что многочлен степени  $n$  с комплексными коэффициентами имеет ровно  $n$  комплексных корней (основная теорема алгебры). Это одна из главных причин широкого применения комплексных чисел в математических исследованиях.

Почему появились комплексные числа? Процесс расширения понятий числа от натуральных к действительным был связан как с потребностями практики, так и с нуждами самой математики. Сначала для счёта предметов использовались натуральные числа. Затем необходимость выполнения деления привела к понятию дробных положительных чисел; далее, необходимость выполнения вычитания – к понятиям нуля и отрицательных чисел; наконец, необходимость извлечения корней из положительных чисел – к понятию иррациональных чисел. Все перечисленные операции выполнимы на множестве действительных чисел. Однако остались и невыполнимые на этом множестве операции, например извлечение квадратного корня из отрицательного числа. Значит, имеется потребность в дальнейшем расширении понятий числа, в появлении новых чисел, отличных от действительных.

Геометрически действительные числа изображаются точками на координатной прямой: каждому числу соответствует одна точка прямой («образ» действительного числа). Координатная прямая сплошь заполнена образами действительных чисел, т. е. «на ней нет места для новых чисел». Возникло предположение о том, что геометрические образы новых чисел нужно искать не на прямой, а на плоскости.

Комплексным числом называется всякая упорядоченная пара действительных чисел  $a$  и  $b$ . Два комплексных числа  $(a; b)$  и  $(c; d)$  называются равными тогда и только тогда, когда  $a = c$  и  $b = d$ .

Алгебраическая форма комплексного числа. Запись  $a+bi$  называется алгебраической формой комплексного числа  $z=(a; b)$ ; при этом число  $a$  называется действительной частью комплексного числа  $z$ , а  $bi$  – его мнимая часть. Основное свойство числа  $i$  состоит в том, что произведение  $i * i$  равно  $-1$ , т. е.  $i^2 = -1$ .

Если мнимая часть комплексного числа  $a+bi$  отлична от нуля, то такое число называется мнимым; если при этом  $a = 0$ , т. е. число имеет вид  $bi$ , то оно называется чисто мнимым; если у комплексного числа  $a+bi$  мнимая часть равна нулю, то получается действительное число  $a$ .

История возникновения комплексных чисел и их роль в процессе развития математики. Комплексные числа возникли в математике в начале XVI века в связи с решением алгебраических уравнений 3-ей степени, а позднее, и уравнений 2-ой степени. Некоторые итальянские математики того времени (Сципиондель Ферро, Николо Тарталья, Джироламо Кардано, Рафаэль Бомбелли) ввели в рассмотрение символ  $\sqrt{-1}$  как формальное решение уравнения  $x^2+1=0$ , а также выражение более общего вида  $(a+b\sqrt{-1})$  для записи решения уравнения  $(x-a)^2+b^2=0$ . Впоследствии выражения вида  $(a+b\sqrt{-1})$  стали называть «мнимыми», а затем «комплексными» числами и записывать их в виде  $(a+bi)$  (символ  $i$  для обозначения  $\sqrt{-1}$  ввел Леонард Эйлер в XVIII в.). Этих чисел, чисел новой природы оказалось достаточно для решения любого квадратного уравнения (включая случай  $D < 0$ ), а также уравнения 3-ей и 4-ой степени.

Математики XVI в. и следующих поколений вплоть до начала XIX века относились к комплексным числам с явным недоверием и предубеждением. Они считали эти числа «мнимыми» (Декарт), «несуществующими», «вымышленными», «возникшими от избыточного мудрствования» (Кардано). Лейбниц называл эти числа «изысканным и чудесным убежищем божественного духа», а  $\sqrt{-1}$  считал символом потустороннего мира (и даже завещал начертать его на своей могиле).

Однако использование аппарата комплексных чисел (несмотря на подозрительное к ним отношение), позволило решить многие трудные задачи. Поэтому со временем комплексные числа занимали все более важное положение в математике и ее приложениях. В первую очередь они глубоко проникали в теорию алгебраических уравнений, существенно упростив их изучение. Например, один из трудных вопросов для математиков XVII-XVIII веков состоял в определении числа корней алгебраического уравнения  $n$ -ой степени, т.е. уравнения вида  $a^0*x^n+a^1*x^{n-1}+\dots+a^{n-1}*x+a^n=0$ . Ответ на этот вопрос, как оказалось, зависит от того, среди каких чисел – действительных или комплексных – следует искать корни этого уравнения. Если ограничиться действительными корнями, то можно лишь утверждать, что их не больше, чем  $n$ . А если считать допустимым наличие и комплексных решений, то ответ на поставленный вопрос получается исчерпывающий: любое алгебраическое уравнение степени  $n$  имеет ровно  $n$  корней (действительных или комплексных), если каждый корень считать столько раз, какова его кратность (а это – число совпадающих с ним корней). При  $n>5$  общее алгебраическое уравнение степени  $n$  неразрешимо в радикалах, т.е. не существует формулы, выражающей его корни через коэффициенты с помощью арифметических операций и извлечения корней натуральной степени.

После того как в XIX в. появилось наглядное геометрическое изображение комплексных чисел с помощью точек плоскости и векторов на плоскости (Гаусс в 1831 г, Вессель в 1799 г, Арган в 1806 г), стало возможным сводить к комплексным числам и уравнениям для них многие задачи естествознания, особенно гидро- и аэродинамики, электротехники, теории упругости и прочности, а также геодезии и картографии. С этого времени существование «мнимых», или комплексных чисел стало общепризнанным фактом и они получили такое же реальное содержание, как и числа действительные. К настоящему времени изучение комплексных чисел развилось в важнейший раздел современной математики - теорию функций комплексного переменного (ТФКП).

Символ  $i$  предложил Эйлер (1777, опубл. 1794), взявший для этого первую букву слова лат. *imaginiarius*. Он же распространил все стандартные функции, включая логарифм, на комплексную область. Эйлер также высказал в 1751 году мысль об алгебраической замкнутости поля комплексных чисел. К такому же выводу пришел д'Аламбер (1747), но первое строгое доказательство этого факта принадлежит Гауссу (1799). Гаусс и ввёл в широкое употребление термин «комплексное число» в 1831 году, хотя этот термин ранее использовал в том же смысле французский математик Лазар Карно в 1803 году.

Действия над комплексными числами. Символ  $a + bi$  называют комплексным числом с действительной частью  $a$  и мнимой частью  $bi$ , где  $a$  и  $b$  – действительные числа,  $b$  – коэффициент мнимой части.

Комплексное число  $a + 0i$  отождествляется с действительным числом  $a$ , т.е.  $a + 0i = a$ , в частности,  $0+0i=0$ . Числа вида  $bi$  называют чисто мнимыми.

Значение комплексных чисел. Комплексные числа широко применяются не только в математике, но также в физике и технике. Стало ясно, что комплексные числа полезны во многих вопросах, где имеют дело с величинами, которые изображаются векторами.

Кроме того, применение комплексных чисел позволяет удобно и компактно сформулировать многие математические модели, применяемые в математической физике и в естественных науках – электротехнике, гидродинамике, картографии, квантовой механике, теории колебаний и многих других.

Таким образом, в настоящей статье дано понятие комплексных чисел, история их возникновения, рассмотрены примеры действий с комплексными числами.

Литература.

1. Стройк Д.Я. «Краткий очерк истории математики». –М.: «Наука», 2000 г.
2. «Математика» Гусев В.А., Мордкович А.Г. («Просвещение» 2004 г.).
3. «Справочник по элементарной математике» М.Я. Выгодский (Москва 2001 г.).

### МАТЕМАТИКА В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

*Д.К. Бомуллов, студент гр. 10А41, В.А. Журавлев, ст. преп.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: df1999@mail.ru*

До начала 17 в. математика – преимущественно наука о числах, скалярных величинах и сравнительно простых геометрических фигурах; изучаемые ею величины (длины, площади, объемы и пр.) рассматриваются как постоянные. К этому периоду относится возникновение арифметики, геометрии, позднее – алгебры и тригонометрии и некоторых частных приемов математического анализа. Областью применения математики являлись: счет, торговля, землемерные работы, астрономия, отчасти архитектура.

В 17 и 18 вв. потребности бурно развивавшегося естествознания и техники (мореплавания, астрономии, баллистики, гидравлики и т.д.) привели к введению в математику идей движения и изменения, прежде всего в форме переменных величин и функциональной зависимости между ними. Это повлекло за собой создание аналитической геометрии, дифференциального и интегрального исчисления. В 18 в. возникают и развиваются теория дифференциальных уравнений, дифференциальная геометрия и т.д. В 19-20 вв. математика поднимается на новые ступени абстракции. Обычные величины и числа оказываются лишь частными случаями объектов, изучаемых в современной алгебре; геометрия переходит к исследованию «пространств», весьма частным случаем которых является евклидово пространство. Развиваются новые дисциплины: теория функций комплексного переменного, теория групп, проективная геометрия, неевклидова геометрия, теория множеств, математическая логика, функциональный анализ и др. Практическое освоение результатов теоретического математического исследования требует получения ответа на поставленную задачу в числовой форме.

В связи с этим в 19-20 вв. численные методы математики вырастают в самостоятельную ее ветвь – вычислительную математику. Стремление упростить и ускорить решение ряда трудоемких вычислительных задач привело к созданию вычислительных машин. Потребности развития самой математики, "математизация" различных областей науки, проникновение математических методов во многие сферы практической деятельности, быстрый прогресс вычислительной техники привели к появлению целого ряда новых математических дисциплин, как например, теория игр, теория информации, теория графов, дискретная математика, теория оптимального управления.

*Математика* – область человеческого знания, изучающая математические модели, отражающие объективные свойства и связи. «Замечательно, – пишет В.А. Успенский, – что хотя математическая модель создается человеческим разумом, она, будучи создана, может стать предметом объективного изучения. Познавая ее свойства, мы тем самым познаем и свойства отраженной моделью реальности». Кроме того, математика дает удобные способы описания самых разнообразных явлений реального мира и тем самым выполняет роль языка науки. Наконец, математика дает людям методы изучения и познания окружающего мира, методы исследования как теоретических, так и практических проблем.

Современное понятие *математики* – наука о математических структурах (множествах, между элементами которых определены некоторые отношения).

У представителей науки начала 19 века, не являющихся математиками, можно найти такие общедоступные определения математики.

«Чистая математика имеет своим объектом пространственные формы и количественные отношения действительного мира» (Ф. Энгельс).

«Математика – наука о величинах и количествах; все, что можно выразить цифрой, принадлежит математике. Математика может быть чистой и прикладной.

Математика делится на арифметику и геометрию; первая располагает цифрами, вторая – протяжениями и пространствами. Алгебра заменяет цифры более общими знаками, буквами; аналитика добивается выразить все общими формулами, уравнениями, без помощи чертежа» (В. Даль).

Современная математика насчитывает множество математических теорий: математическая статистика и теория вероятности, математическое моделирование, численные методы, теория групп, теория чисел, векторная алгебра, теория множеств, аналитическая и проективная геометрия, математический анализ и т.д.

Несмотря на то, что математических теорий достаточно много и они, на первый взгляд, могут и не иметь ничего общего, внутренняя эволюция математической науки упрочила единство ее различных частей и создала центральное ядро. Существенным в этой эволюции является систематизация отношений, существующих между различными математическими теориями; ее итогом явилось направление, которое обычно называют «аксиоматический метод». В теории, построенной в согласии с аксиоматическим методом, начинают с небольшого количества неопределяемых (первичных) понятий, с помощью которых образуются утверждения, называемые аксиомами.

Прочие понятия, изучаемые в теории, определяются через первичные, и из аксиом и определенных выводятся теоремы. Теория становится рекурсивно структурированной, ее можно представить в виде матрешки, в которой понятия и их свойства как бы являются вложенными друг в друга. Каждая математическая теория является цепочкой высказываний, которые выводятся друг из друга согласно правилам логики, т.е. объединяющим началом математики является «дедуктивное рассуждение». Развитие математической теории в таком стиле – это первый шаг по направлению к ее формализации.

Открытие неевклидовых геометрий и создание теории множеств привели к перестройке всего здания математики и созданию совершенно новых ее отраслей. Важное значение приобрела в современной математике математическая логика. Методы математики широко используются в точном естествознании. Применение ее в биологии и общественных науках до последнего времени носило случайный характер. Создание (под непосредственным влиянием практики) таких отраслей, как линейное программирование, теория игр, теория информации, и появление электронных математических машин открывают здесь совершенно новые перспективы. Философские вопросы математики (характер и происхождение математической абстракции, ее особенности) всегда являлись ареной борьбы между материализмом и идеализмом. Особенно важное значение имеют философские вопросы, возникшие в связи с проблемами оснований математики.

Математика играет важную роль в естественнонаучных, инженерно-технических и гуманитарных исследованиях. Причина проникновения математики в различные отрасли знаний заключается в том, что она предлагает весьма четкие модели для изучения окружающей действительности в отличие от менее общих и более расплывчатых моделей, предлагаемых другими науками. Без современной математики с ее развитым логическими и вычислительным аппаратом был бы невозможен прогресс в различных областях человеческой деятельности. Математика является не только мощным средством решения прикладных задач и универсальным языком науки, но также и элементом общей культуры.

Всякое точное объяснение того или иного явления – математично и, наоборот, все, что точно – математика. Любое же точное описание – это описание на соответствующем математическом языке. Классический трактат Ньютона «Математические начала натуральной философии», произведший переворот во всей математике, по существу является учебником грамматики разгаданного им «языка Природы», дифференциального исчисления, вместе с рассказом о том, что ему удалось у нее в результате услышать. Естественно, что он смог разобрать только смысл ее самых простых фраз. Последующие поколения математиков и физиков, постоянно совершенствуясь в этом языке, постигали все более и более сложные выражения, потом несложные четверостишия, поэмы... Соответственно, печатались расширенные и дополненные версии Ньютоновской грамматики.

История математики знает две великие революции, каждая из которых полностью меняла её облик и внутреннее содержание. Их движущей силой была «невозможность жить по старому», т.е. невозможность адекватно интерпретировать актуальные проблемы точного естествознания на языке существующей математики. Первая из них связана с именем Декарта, вторая с именами Ньютона и Лейбница, хотя, конечно же, они отнюдь не сводятся только к этим великим именам. По словам Гиббса, математика – это язык, и сутью этих революций была глобальная перестройка всей математики на новой языковой основе. В итоге первой революции, языком всей математики стал язык коммутативной алгебры, вторая же заставила её говорить языком дифференциального исчисления.

Математики отличаются от «нематематиков» тем что, обсуждая научные проблемы или решая практические задачи, говорят между собой и пишут работы на особом «математическом языке» – языке специальных символов, формул и т.п.

Дело в том, что на математическом языке многие утверждения выглядят яснее и прозрачнее, чем на обычном. Например, на обычном языке говорят: «От перемены мест слагаемых сумма не меняется» – так звучит переместительный закон сложения чисел. Математик пишет (или говорит):  $a + b = b + a$

Или такую фразу из физики: «Сила равна произведению массы на ускорение» запишет:  $F = m \cdot a$

Он переводит высказанное утверждение на математический язык, в котором используются разные числа, буквы (переменные), знаки арифметических действий и иные символы. Все эти записи экономны, наглядны и удобны для применения.

Возьмем другой пример. На обычном языке говорят: «Чтобы сложить две обыкновенные дроби с одинаковыми знаменателями, нужно сложить их числители и записать в числителе дроби, а знаменатель оставить тот же без изменения и записать в знаменатель». Математик осуществляет «синхронный перевод» на свой язык:

$$\frac{a}{c} + \frac{b}{c} = \frac{a+b}{c}.$$

А вот пример обратного перевода. На математическом языке записан распределительный закон:  $a(b + c) = ab + ac$ .

Осуществляя перевод на обычный язык, получим длинное предложение: «Чтобы умножить число  $a$  на сумму чисел  $b$  и  $c$ , надо число  $a$  умножить поочередно на каждое слагаемое:  $b$ , потом  $c$ , и полученные произведения сложить».

Во всяком языке есть своя письменная и устная речь. Выше мы говорили о письменной речи в математике. А устная речь – это употребление специальных терминов или словосочетаний, например: «слагаемое», «произведение», «уравнение», «неравенство», «функция», «график функции», «координата точки», «система координат» и т.п., а также различные математические утверждения, выраженные словами: «Число  $a$  делится на 2 тогда и только тогда, когда оканчивается на 0 или четную цифру».

Говорят, что культурный человек, кроме родного языка должен владеть ещё хотя бы одним иностранным языком. Это верно, но требует дополнения: культурный человек должен ещё уметь говорить, писать и думать и на математическом языке, поскольку это тот язык, на котором, как мы не раз уже убеждались, «говорит» окружающая действительность. Чтобы овладеть новым языком, необходимо изучить, как говорят, его алфавит, синтаксис и семантику, т.е. правила написания и смысл, заложенный в написанном. И, конечно же, в результате такого изучения представления о математическом языке и предмете будут постоянно расширяться.

В основе построения математической теории лежит *аксиоматический метод* – один из способов дедуктивного построения научных теорий. В основании аксиоматически построенной теории лежат *аксиомы*, т.е. предложения, принимаемые без доказательства. Все остальные предложения теории выводятся из аксиом (т.е. доказываются, являются теоремами) на основании логических правил вывода и правил определения предложений, допускаемых в данной теории. Понятие аксиоматической теории было уточнено путем введения определения формальной системы, состоящей из языка системы, аксиом системы, правил вывода системы. Язык системы состоит из алфавита (перечня элементарных символов системы) и синтаксиса (правил, по которым из элементарных символов строятся формулы, предложения системы). Правила вывода позволяют получать из аксиом теоремы.

Основными методами в математических исследованиях являются математические доказательства – строгие логические рассуждения. Математическое мышление не сводится лишь к логическим рассуждениям. Для правильной постановки задачи, для оценки выбора способа ее решения необходима математическая интуиция. В математике используют два вида умозаключений: *индукция* – метод исследования, в котором общий вывод строится на основе частных посылок и *дедукция* – способ рассуждения, посредством которого от общих посылок следует заключение частного характера.

Создание дедуктивного или аксиоматического метода построения науки является одним из величайших достижений математической мысли. Оно потребовало работы многих поколений ученых. Замечательной чертой дедуктивной системы изложения является простота этого построения, позволяющая описать его в немногих словах. Дедуктивная система изложения сводится: к перечислению основных понятий, к изложению определений, к изложению аксиом, к изложению теорем, к доказательству этих теорем: *аксиома* – утверждение, принимаемое без доказательств, *теорема* – утверждение, вытекающее из аксиом, *доказательство* – составная часть дедуктивной системы, это есть рас-

суждение, которое показывает, что истинность утверждения вытекает логически из истинности предыдущих теорем или аксиом.

История естествознания свидетельствует, что возможность аксиоматического построения той или иной науки появляется лишь на довольно высоком уровне развития этой науки, на базе большого фактического материала, позволяет отчетливо выявить те основные связи и соотношения, которые существуют между объектами, изучаемыми данной наукой.

Образцом аксиоматического построения математической науки является элементарная геометрия. Система аксиом геометрии были изложены Евклидом (около 300 г. до н. э) в непревзойденном по своей значимости труде – «Начала». Эта система в основных чертах сохранилась и по сей день.

Элементарная геометрия имеет 13 аксиом, которые разбиты на пять групп. В пятой группе одна аксиома – аксиома о параллельных (V постулат Евклида). Через точку на плоскости можно провести только одну прямую, не пересекающую данную прямую. Это единственная аксиома, вызывавшая потребность доказательства. Попытки доказать пятый постулат занимали математиков более 2-х тысячелетий, вплоть до первой половины 19 века, когда Н.И. Лобачевский доказал в своих трудах полную безнадёжность этих попыток.

В настоящее время недоказуемость пятого постулата является строго доказанным математическим фактом. Аксиому о параллельных Лобачевский заменил аксиомой: «Пусть в данной плоскости дана прямая и лежащая вне прямой точка. Через эту точку можно провести к данной прямой, по крайней мере, две параллельные прямые». Из новой системы аксиом он с безупречной логической строгостью вывел стройную систему теорем, составляющих содержание неевклидовой геометрии. Обе геометрии Евклида и Лобачевского, как логические системы равноправны.

За геометрией Лобачевского возникли и другие непротиворечивые геометрии: от евклидовой отделилась проективная геометрия, сложилась многомерная евклидова геометрия, возникла риманова геометрия (общая теория пространств с произвольным законом измерения длин) и др. Из науки о фигурах в одном трёхмерном евклидовом пространстве геометрия превратилась в совокупность разнообразных теорий.

Литература.

1. Бурбаки Н. Очерки по истории математики / Н. Бурбаки. - М.: Изд-во Ин. лит., 1972.
2. Гнеденко Б.В. Математика в современном мире / Б.В. Гнеденко. - Издательство Просвещение. - М.: Просвещение, 1980.
3. Кудрявцев Л.Д. Мысли о современной математике и ее изучении / Л.Д. Кудрявцев. - М.: Просвещение, 1977.
4. Локоть Н.В. Математика для нематематиков. Учебное пособие для студентов-гуманитариев / Н.В. Локоть. - Мурманск: МГПИ, 1999.
5. Малаховский В.С. Введение в математику / В.С. Малаховский. - Калининград: Янтарный сказ, 2001.
6. Сухотин А.К. Философия математики. Учебное пособие / А.К. Сухотин. - М., 2000.

### **МАТЕМАТИКА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНЖЕНЕРА**

*Ш.Р. Джаборов, студент группы 10741, Х.Н. Комилов, студент группы 17В41,*

*научный руководитель: Гиль Л.Б., к.пед.н., доцент,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: srd2@tpu.ru*

Миллионы студентов технического вуза, мучаясь над очередной преподавательской задачей по математике, задумываются – а нужна ли мне эта наука вообще? Что я буду делать с интегралами в своей профессиональной деятельности, зачем мне производные, ряды и т. д.?

Мы провели опрос среди студентов 1-го курса, ЮТИ ТПУ с целью выяснить насколько они осознают значимость математики в жизни. 60-ти студентов было предложено продолжить фразу: «Я изучаю математику потому, что...» со следующими вариантами ответов:

- а) пригодится в жизни;
- б) заставляют родители;
- в) нравится предмет;
- г) есть в программе обучения;
- д) хочу закончить на хорошие оценки.

Результаты опроса	
Варианты	Ответы
а) пригодится в жизни	50%
б) заставляют родители	0%
в) нравится предмет	17%
г) есть в программе обучения	25%
д) хочу закончить вуз на хорошие оценки	8%

Число студентов, которым нравится предмет, остается невысоким. Студентов, которые осознают, что математика пригодится им в жизни, становится больше. А число студентов, которые осознают, что математика есть в программе обучения, поэтому мы её изучаем, становится 25% из 100%.

*Цель нашего исследования:* изучение истории становления и роли математики как инструмента инженерной деятельности человека.

Задачи исследования – на основе анализа различных информационных источников и документов:

- уяснить что такое математика и что или кто такой инженер;
- рассмотреть, как происходило становление математики;
- узнать значение математики в современном мире технологических процессов.

Согласно Ф. Энгельсу, «чистая математика имеет своим объектом пространственные формы и количественные отношения действительного мира» [6]. Это определение не только описывает объект изучения математики, но и указывает его происхождение – действительный мир. Однако определение Ф. Энгельса в значительной мере отражает состояние математики во второй половине XIX в. и не учитывает те ее новые области, которые непосредственно не связаны ни с количественными отношениями, ни с геометрическими формами. Это, прежде всего, математическая логика и дисциплины, связанные с программированием для ЭВМ. Поэтому определение Ф. Энгельса нуждается в некотором уточнении. Возможно, нужно сказать, что математика имеет своим объектом изучения пространственные формы, количественные отношения и логические конструкции. Исследование истории развития математики показывает, что она зародилась и развивалась на основе потребностей практической деятельности человека. Потребности измерения (количества зерна, длины дороги и т. п.) приводят к появлению названий и обозначений простейших дробных чисел и к разработке приемов выполнения арифметических действий над дробями. Только после накопления большого конкретного материала в виде разрозненных приемов арифметических вычислений, способов определения площадей и объемов и т. п., возникает математика как самостоятельная наука с ясным пониманием своеобразия ее метода и необходимости систематического развития ее основных понятий и предложений в достаточно общей форме. С введением в науку идей движения и изменения, зависимости между величинами приводит к понятию функция и методам её исследования. Задачи, непрерывно выдвигаемые естествознанием и техникой, заставляли и заставляют развиваться математику, так например в непосредственной и непрерывной зависимости от запросов механики и физики происходило формирование векторного и тензорного исчисления.

В качестве основного аппарата новых областей механики и математической физики усиленно разрабатывается теория дифференциальных уравнений обыкновенных, дифференциальных уравнений с частными производными и математической физики уравнений. Теория дифференциальных уравнений послужила отправным пунктом исследований по топологии многообразий.

Потребности развития самой математики, «математизация» различных областей науки, проникновение математических методов во многие сферы практической деятельности, быстрый прогресс вычислительной техники привели к перемещению основных усилий математиков внутри сложившихся разделов математики и к появлению целого ряда новых математических дисциплин. На основе задач теории управляющих систем, комбинаторного анализа, теории графов, теории кодирования возник дискретный анализ. Вопросы о наилучшем (в том или ином смысле) управлении физическими или механическими системами, описываемыми дифференциальными уравнениями, привели к созданию оптимального управления математической теории.

И всеми этими математическими методами в той или иной мере в зависимости от специфики своей деятельности должен владеть инженер. Инженер (фр. *ingénieur*, от лат. *ingenium* – способность, изобретательность) – специалист с техническим образованием, создатель информации об архитекту-

ре материального средства достижения цели и его функциональных свойствах, способа (технологии) изготовления этого средства (продукта), равно как самого средства и материального воплощения цели, и осуществляющего руководство и контроль за изготовлением продукта. Основной инженерной задачей считается разработка новых и оптимизация существующих решений. Например: оптимизация проектного решения (в т. ч. вариантное проектирование), оптимизация технологии и т. п. Разработка принципиально новых решений (в т. ч. изобретений) составляет малую часть инженерного труда, но наиболее значимую. Первоначально инженерами называли лиц, которые управляли военными машинами. Понятие «гражданский инженер» появилось в XVI веке в Голландии применительно к строителям мостов и дорог, затем в Англии и других странах. Понятие и звание инженер давно применялись в России, где инженерное образование началось с основания в 1701 г., в Москве школы математических и навигационных наук, а затем в 1712 г., первой инженерной школы.

Используя справочник типовых должностных инструкций, мы познакомились с основными компетенциями инженера-технолога, среди которых: знание систем и методов проектирования (*прим. наше*: что невозможно без математических знаний) технологических процессов и режимов производства; обязанностями, среди которых:

- изучает и анализирует информацию, технические данные, показатели и результаты работы, обобщает и систематизирует их, проводит необходимые расчеты, используя современную электронно-вычислительную технику;
- составляет графики работ, заказы, заявки, инструкции, пояснительные записки, карты, схемы, другую техническую документацию, а также установленную отчетность по утвержденным формам и в определенные сроки;
- оказывает методическую и практическую помощь при реализации проектов и программ, планов и договоров;
- осуществляет экспертизу технической документации, надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией оборудования.

Таким образом, изучив обязанности инженера мы, приходим к выводу, что для осуществления инженерной деятельности необходима база определенных знаний, одним из которых в основании находится математика.

В настоящее время, когда необходимость глубокой математической подготовки инженеров не надо обосновывать, когда как в содержательном, так и в организационном плане обособилась сфера технических наук, ставшая объектом философско-методологического анализа, вопрос о значении математики для техники трансформировался в проблему математизации технических наук.

Процесс математизации технических наук фиксируется как феномен при рассмотрении истории технических знаний в той или иной области. Более того, он происходит столь стремительно, что ощущается каждым инженером и инженерным сообществом в целом в виде проблем повышения квалификации, перестройки учебных программ, связанных с быстрым устареванием и сменой используемого математического аппарата.

С внешней стороны математизация технических наук может быть охарактеризована как последовательное расширение и усложнение применяемых в инженерии математического аппарата и методов. Внутренняя, сущностная сторона математизации технических наук может быть раскрыта на основе исследования функций и роли математики в формировании и функционировании технических теорий и анализа их изменений в процессе развития технических наук. Она имеет специфику, обусловленную особым гносеологическим статусом технических наук.

Если в технических науках создается, обосновывается и исследуется набор методов решения инженерных задач, то главным показателем инженерного искусства является выбор такого математического описания и такой точности проводимых решений, которые были бы адекватны поставленной задаче. Этот выбор и оценка результатов решений должны основываться на понимании допущений, лежащих в их основе, на умении физически интерпретировать сложные формализованные решения. Причем то, что сложные инженерные задачи в их математической части относительно легко разрешимы с помощью современной вычислительной техники, не умаляет, а, напротив, усиливает необходимость глубокого понимания инженером физики явлений, физического содержания математических формул и смысла производимых расчетных операций.

Теоретическое исследование (познание) в технических науках направлено на построение моделей процесса-оригинала, позволяющих давать математическое описание и получать численное решение для различных режимов функционирования технического устройства.

Здесь важнейшим моментом является работа с математическими уравнениями исследуемых процессов, компонентам которых приписывается статус существования, что выражается в их содержательной и операционной интерпретации, закреплении в особом понятии (например, "параметр цепи") и условном графическом изображении. Обратной стороной математизации является углубленное изучение картины реальных физических процессов в электротехнических устройствах (процессов-оригиналов), необходимое для понимания границ применимости тех или иных рациональных упрощений этой картины (идеализаций, теоретических схем) и, соответственно, того или иного математического аппарата.

В настоящее время, когда необходимость глубокой математической подготовки инженеров не надо обосновывать, когда как в содержательном, так и в организационном плане обособилась сфера технических наук, ставшая объектом философско-методологического анализа, вопрос о значении математики для техники трансформировался в проблему математизации технических наук.

Процесс математизации технических наук фиксируется как феномен при рассмотрении истории технических знаний в той или иной области. Более того, он происходит столь стремительно, что ощущается каждым инженером и инженерным сообществом в целом в виде проблем повышения квалификации, перестройки учебных программ, связанных с быстрым устареванием и сменой используемого математического аппарата.

С внешней стороны математизация технических наук может быть охарактеризована как последовательное расширение и усложнение применяемых в инженерии математического аппарата и методов. Внутренняя, сущностная сторона математизации технических наук может быть раскрыта на основе исследования функций и роли математики в формировании и функционировании технических теорий и анализа их изменений в процессе развития технических наук. Она имеет специфику, обусловленную особым гносеологическим статусом технических наук.

Если в технических науках создается, обосновывается и исследуется набор методов решения инженерных задач, то главным показателем инженерного искусства является выбор такого математического описания и такой точности проводимых решений, которые были бы адекватны поставленной задаче. Этот выбор и оценка результатов решений должны основываться на понимании допущений, лежащих в их основе, на умении физически интерпретировать сложные формализованные решения. Причем то, что сложные инженерные задачи в их математической части относительно легко разрешимы с помощью современной вычислительной техники, не умаляет, а, напротив, усиливает необходимость глубокого понимания инженером физики явления, физического содержания математических формул и смысла производимых расчетных операций.

Широкое привлечение сложного математического аппарата и решение прикладных задач привело к формированию научных дисциплин с особым статусом.

В 1950-1970-х гг., в развитии технических наук все большую роль стали играть процессы интеграции и обобщения теоретических результатов, полученных в исследованиях инженерных проблем той или иной техники. Появились общеинженерные теории, методы проектирования, дисциплины. Так, в 1950-х гг., анализ условий генерирования незатухающих колебаний в радиотехнических установках, исследование статической и динамической устойчивости энергосистем и ряд других технических задач потребовали широких теоретических обобщений, применения в инженерном деле сложного математического аппарата и методов прикладной математики.

Это привело к возникновению в 1950-х гг., теории колебаний - междисциплинарной теории, нацеленной на физико-математический анализ процессов в конкретных динамических системах любой природы. В теории колебаний разрабатывается совокупность математических моделей, позволяющая выделять и исследовать характерный класс процессов различного происхождения: в физике, в биологии, в механике, в различных областях техники.

В 1950-х гг., приобрела междисциплинарный статус и теория электрических цепей, первоначально развивающаяся как базовая электротехническая теория. К этому же типу общетехнических дисциплин можно отнести теорию подобия, возникшую из задач теплотехники и нашедшую применение в решении проблем химической технологии, электротехнике и других областях инженерной и научной деятельности.

Таким образом, теоретическое исследование (познание) в технических науках направлено на построение моделей процесса-оригинала, позволяющих давать математическое описание и получать численное решение для различных режимов функционирования технического устройства.

В связи с этим центральным объектом гносеологического анализа - исследовательские процедуры и теоретические схематизации технической науки, позволяющие осуществлять переход от структурно-морфологических изображений устройств, на которых разъясняется и анализируется картина протекающих в них процессов в свете поставленной инженерной задачи, к изображению самих процессов, т. е., к математической модели процесса-оригинала.

Важнейшим моментом такого перехода является работа с математическими уравнениями исследуемых процессов, компонентам которых приписывается статус существования, что выражается в их содержательной и операционной интерпретации, закреплении в особом понятии (например, "параметр цепи") и условном графическом изображении. Обратной стороной математизации является углубленное изучение картины реальных физических процессов в электротехнических устройствах (процессов-оригиналов), необходимое для понимания границ применимости тех или иных рациональных упрощений этой картины (идеализаций, теоретических схем) и, соответственно, того или иного математического аппарата.

Мы рассмотрели значения, цели, задачи, результаты двух понятий: математика и инженер. Провели аналогию, и нашли взаимосвязь между инженером и математикой. В наш век развития науки и техники, покорения космоса мы видим, что любой специалист квалифицирующийся как инженер (сфера деятельности разнообразна) обязан знать математику, ее направления, законы, теоремы, аксиомы, т. е., все разнообразные инструменты для решения задач своей профессии. Все инженерные изыскания и результаты работ имеют под собой в основе точную науку - математику.

Математика нужна инженеру, как база данных, на которой специалист строит свою деятельность, результатом которой являются плодотворные шаги в развитие науки и техники, в жизнеобеспечение людей, функциональности окружающих нас механизмов и материй.

Литература.

1. База рефератов // Электронный ресурс: <http://revolution.allbest.ru/mathematics/d00309781.html>.
2. Бурдыгина И.Н. «Математика в нашей жизни», электронный ресурс <http://nsportal.ru/ap/ap/nauchno-tekhnicheskoe-tvorchestvo/ma..>, Дата обращения 29.04.2015 г.
3. Справочник типовых должностных инструкций (Copyright © 2014 – 2015) // Электронный ресурс: <http://www.aup.ru/docs/di/840.htm>.
4. Магомедова П.А. Математика в жизни человека // Электронный ресурс: <http://literature-edu.ru/matematika/6794/index.html>, Дата обращения 29.04.2015 г.
5. Сергеев И.Н. Примени математику / И.Н. Сергеев, С.Н. Олехник, С.Б. Гашков, М.: Наука, 1990.–240 с.
6. Энциклопедический словарь юного математика / Сост. А. П. Савин. – М.: Педагогика, 1989. – 352 с.

### РАЗМЫШЛЕНИЯ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МЫШЛЕНИИ

*Н.Б. Джамансариев, студент группы 17В41, С.В. Соколова, доцент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Единого мнения по вопросу определения понятия математического мышления в психолого-педагогической и методической литературе нет. Одни исследователи считают, что математического мышления как такового, обладающего своими специфическими формами мыслительных действий, нет; своеобразие такого мышления связано, по их мнению, лишь с характером собственно математического материала. Другими словами, представители первого подхода отрицают специфику математического мышления (Л.С. Трегуб, Г. Фрейдепаль и др.). Согласно модели И.Я. Каплуновича, структура математического мышления представляет собой пересечение пяти основных подструктур: топологической, порядковой, метрической, композиционной (алгебраической) и проективной.

**Топологическое мышление.** Люди-топологи не любят действовать на бум и с бухты-барахты. Им необходимо всегда начать действие с начала, ухватить нить следствия, не пропуская ни одной детали, скрупулезно, не торопясь, довести до конечного результата.

**Порядковое мышление.** Формируется в мозгу почти сразу же после топологического и отвечает за точное следование логических операций. «Порядковая», в отличие от топологов, не важно объединение операций в одно целое; они любят строгий линейный порядок, от начального к конечному.

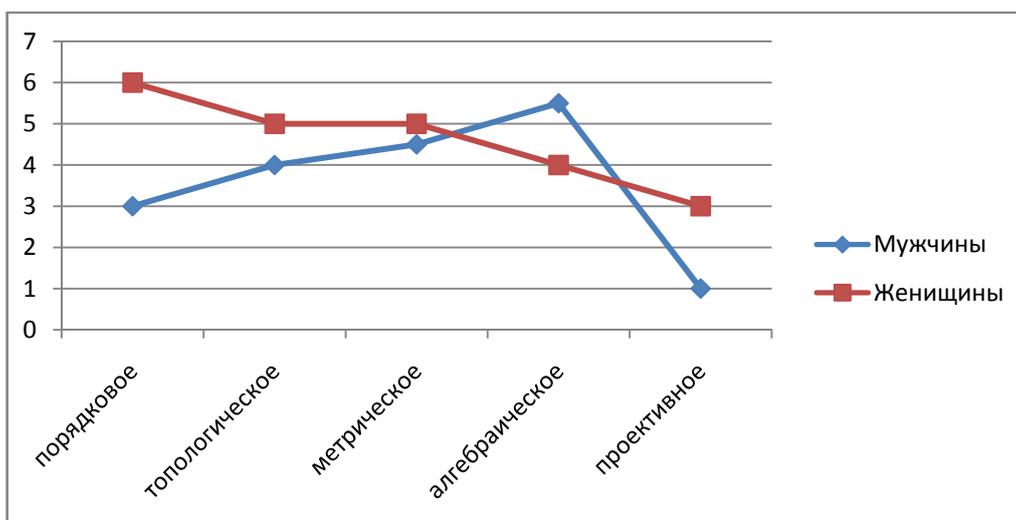
**Метрическое мышление.** Эта структура руководствует в человеке количественными запросами. Метристы в деле считают самым главным точное математическое значение – цифры, цифры и ещё раз цифры. Всегда и во всем они пытаются сводить к конкретным величинам и постоянно оперируют такими параметрами как ширина, высота, дальность, цена, количество, время и т.д.

**Алгебраическое мышление.** Люди с доминирующим мышлением этого типа – прирождённые комбинаторы и конструкторы. Они постоянно стремятся к представлению объекта через структурное восприятие. То есть, постоянно разбирают и собирают предмет, пытаются выстроить из частей разные комбинации.

**Проективное мышление.** Самое сложное из всех пяти. Тот, у кого преобладает структура данного типа, склонен рассматривать предмет с разных точек зрения, под разными углами. Его интересуют все варианты применения предмета в теории и на практике. Такой человек мыслит нестандартно, удивляет окружающих многовариантностью решений, казалось бы, банальной проблемы.

Выбрали группу добровольцев среди студентов ЮТИ ТПУ (30 человек) и провели тест на определение типа математического мышления.

Разумеется, в каждом человеке присутствуют в разных количествах все эти типы мышления. Кстати, у большинства людей порядковое мышление является главным, доминантным – всё это объясняется тем, что обучение в школе все 11 лет проходит по этой системе. Доминант определяет многие аспекты мыслительной и, соответственно, практической деятельности. Причём не только на поприще математики. Даже по тому, как человек расставляет предметы в комнате, одевается, можно вычислить информацию о преобладающей структуре, хотя существует множество простых тестов, которые позволяют это определить. Например, достаточно попросить человека описать свою комнату. **Метрист** начнёт перечислять количество стульев, габариты комнаты; **топограф** будет перечислять по группам: сначала про стулья, кресла, диваны, и уже потом про магнитофон, компьютер, телефон; **алгебраист** просто выльет на бумагу все свои мысли, в любом порядке, перескакивая с места на место; **порядковец** особое внимание уделит расположению предметов относительно друг друга, их формам и размерам; а у **проективиста** получится самая большая по объёму работа – он постарается расписать применение наиболее важных вещей его квартиры.



На первой диаграмме видно, что среди опрошенных мужчин преобладает порядковый тип мышления, среди женщин – алгебраический. На второй диаграмме видно, что среди всех опрошенных преобладает алгебраический тип мышления. Понятно, что у любого человека есть некое преобладание одного типа мышления, а признаки остальных типов мышления присутствуют в том или ином виде.



Учёные узнали, что люди со схожими типами мышления сами тянутся друг к другу, потому что им бывает трудно осознать «математически других» людей. Наблюдайте за собой, развивайте себя, будьте разносторонними людьми.

Литература.

1. <http://shkolazhizni.ru/archive/0/n-3647/>
2. <http://mediamix-nn.ru/krasota-i-zdorove/kakie-tipy-matematicheskogo-myshleniya-est/>
3. О.И. Ларичев, Объективные модели и субъективные решения, Москва, Наука, 1987 год.
4. И.Я. Каплунович. Психологические закономерности генезиса математического мышления// Математика в вузе и школе: обучение и развитие: Тезисы 16 Всероссийского семинара преподавателей математики и методики её преподавания. Новгород, 2007г.
5. Голиков А.И. Развитие математического мышления средствами динамических интеллектуальных игр преследования. Новосибирск, 2002.

## ПИОНЕРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ В СИБИРИ

*Н.Л. Катюков, студент группы 17Г41,*

*научный руководитель: Князева О.Г., ст. преподаватель*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Все чаще и настойчивее в нашу жизнь проникают такие понятия как информационная система, информационный подход, информационные технологии, информационное пространство. И вот уже звучит, правда, пока еще робко, термин «информационная цивилизация». Персонифицируются носители информационной цивилизации, в том числе, в среде ученых и работников образования. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть в том же ключе региональный аспект.

Прошедший век для Сибири стал эпохой уникального научного саморазвития, что в немалой степени обусловлено блестящим кадровым началом в лице представителей фундаментальных наук – докторов физики Николая Александровича Гезехуса, Бориса Петровича Вейнберга и доктора чистой математики Федора Эдуардовича Молина. Примечателен такой исторически важный факт: оба доктора физики имели отношение к великому сибиряку Дмитрию Ивановичу Менделееву – Н.А. Гезехус был им рекомендован на должность первого ректора первого университета в Сибири, Б.П. Вейнберг был его учеником. Еще в студенческие годы Б.П. Вейнберг под влиянием идей Учителя выполнил и опубликовал исследование на тему «О зависимости поверхностного натяжения воды от температуры», а изучению свойств твердой фазы воды – льду – фактически посвятил всю свою жизнь.

Хоть Н.А. Гезехус проработал на посту ректора Императорского Томского университета всего один год, однако его стремление познакомить студентов со всеми новейшими достижениями физики того времени:

1) учреждение Общества естествоиспытателей и врачей при университете; 2) намеченная региональная программа по организации метеорологических наблюдений в Сибири (одна из функций сотрудников физического кабинета: «Собирание, обработка, печатание или пересылка по назначению в другие центральные метеорологические учреждения материалов наблюдений») и т.д. – носило системный, междисциплинарный, информационный подход.

Первый доктор и профессор математики в Сибири Ф.Э. Молин оказался весьма неординарной фигурой. Его математические исследования явились основополагающими для теории строения ассоциативных алгебр, сразу принесли Молину мировую известность и были отмечены Парижской Академией наук памятной медалью Шарля Эрмита. Характерным штрихом его дарования могут служить и необычные результаты в теории шахмат. В эндшпиле – ладья против слона Ф.Э. Молин рассчитал, что возможно около 12 миллионов различных позиций, из которых приблизительно 100 тысяч являются выигрышными для сильнейшей стороны, остальные же – ничейные. Из тех давних, отнюдь не компьютерных времен, модели «искусственного интеллекта» Молина явно указывают на его информационное мышление. Ф.Э. Молин оказался основоположником высшего математического образования в Сибири, автором общего и ряда специальных вузовских курсов математики. С именем Молина рядом часто звучат слова – первый, впервые: 1) педагогическим новшеством в 1901 году было в Томском технологическом институте введение практических занятий по математике; 2) «приватисимумы» (приватные беседы на дому профессора с соискателями ученых степеней – прообраз современных семинаров для аспирантов); 3) создание литографированных учебных пособий для ассистентов и студентов (Молин готовил разноуровневые по сложности задания к каждому занятию); 4) организация математического кабинета и математического отдела библиотеки. Своих коллег и студентов Ф.Э. Молин учил умению мыслить самостоятельно, познавать развитие идей и выбирать логически верное решение. Он принадлежал к числу образованнейших людей, переписывался с учеными разных стран мира, владея в совершенстве 9 европейскими и 3 классическими – древнегреческим, древнееврейским, латинским – языками (порой на конверте адрес указан был так: Сибирь, Молину).

Наиболее ярко черты ученого, представителя информационной цивилизации угадывались в Б.П. Вейнберге. В 1902 году в возрасте 30 лет он написал и издал на французском языке книгу в 126 страниц, посвященную описанию оборудования 206 физических лабораторий в странах Европы, Америки и Австралии. Около 600 работ научного и научно-популярного содержания охватывают широкий спектр проблем, начиная от внутреннего трения льда и течения ледников к физике твердого тела, геофизике, геомагнетизму, гелиотехнике, методике научной работы и подготовки к ней до научно-фантастической повести. При этом отдельные разработки Б.П. Вейнберга носили либо глобальный характер (например, «Люди жизни, думайте о грядах поколений!»), где по оценкам 1907 г. выражалась тревога о накоплении в атмосфере Земли 1% CO<sub>2</sub> через 180 лет); либо намного превосходящее мировое развитие науки и техники (так, «Движение без трения», 1914 г., где был описан прообраз современных поездов на магнитной подушке).

Таким образом, еще примерно за полвека до того, как слово «информация» вошло в понятийный аппарат фундаментальной науки, в Сибири, в Томском университете и Томском технологическом институте уже работали первые носители информационной цивилизации. Применением системного подхода к познанию природы, человека и общества, учетом как сильных (энергетических), так и слабых (информационных) взаимодействий («мало – по-малу», по выражению Б.П. Вейнберга), стремлением не ограничиваться в исследованиях только детерминизмом Лапласа, наконец, по многоплановости решаемых проблем (к примеру, организация Института исследования Сибири в 1919 г., исполнительный директор Б.П. Вейнберг, цель института – планомерное научно-практическое исследование природы, жизни и населения Сибири в плане наиболее рационального использования естественных богатств края и культурно-экономического его развития) и готовности к глобальному мышлению, они были предвестниками новой цивилизации, которая формируется на наших глазах.

### ОПТИЧЕСКИЕ ИЛЛЮЗИИ

*А.К. Курманбай, Ф.И. Одинамадов, студенты гр. 17В41, С.В. Соколова, доцент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

К примеру: приходя в цирк, каждого зрителя интересуют фокусы, оптические эффекты и каждый хочет раскрыть тайны «великих магов».

*Цель нашей работы:* сформировать понятие «иллюзия».

*Задачи:* систематизировать иллюзии, выяснить причины их появления, проведение опроса граждан на тему иллюзий в рекламе.

Да, конечно нет такого фокуса, который бы не имел каких-то секретов, но чаще всего, это лишь обман зрения, то есть оптические иллюзии.

Оптические обманы - не случайные спутники нашего зрения: они сопровождают его при строго определенных условиях, с неизменным пространством закономерного явления и имеют силу для каждого нормального человеческого глаза. То, что человеку свойственно при известных обстоятельствах поддаваться иллюзиям зрения, обманываться относительно источника зрения своих зрительных впечатлений, не следует вовсе рассматривать как всегда нежелательный недостаток, безусловный порок нашей организации, устранение которого было бы для нас во всех отношениях благотворно.

Что касается причин, обуславливающих ту или иную иллюзию зрения, то только для весьма немногих оптических обманов существует твердо установленное, бесспорно объяснение; к ним принадлежат те, которые обусловлены строением глаза: иррадиация, иллюзия Мариотта (слепое пятно), иллюзии, продолжаемые астигматизмом, и т.п.

Недостоверный, необязательный характер носит большинство попыток найти объяснение отдельным иллюзиям зрения. Для некоторых оптических обманов не предложено до сих пор никакого объяснения. Для иных, наоборот, имеется слишком много объяснений, из которых каждое в отдельности было бы, пожалуй, достаточно, если бы не существовало ряда других, ослабляющих его убедительность. Вспомним знаменитую, обсуждаемую уже со времен Птолемея, иллюзию увеличения светил у горизонта: для нее предложено не менее шести удачных теорий, каждая из которых страдает лишь тем недостатком, что имеется еще пять столь же хороших объяснений... Очевидно, почти вся область оптических обманов находится еще на донаучной стадии своей разработки, и нуждается в установлении основных методических принципов ее исследования.

#### *Понятие оптической иллюзии*

Причины возникновения оптических иллюзий

Оптической иллюзией называется несоответствующее действительности представление видимого явления или предмета вследствие строения нашего зрительного аппарата. Попросту говоря - это, наверное, представление реальности.

Почему возникают оптические иллюзии? Зрительный аппарат человека - сложно устроенная система со вполне определенным пределом функциональных возможностей. В неё входят: глаза, нервные клетки, по которым сигнал передаётся от глаза к мозгу, и часть мозга, отвечающая за зрительное восприятие. В связи с этим выделяются три основных причины иллюзии:

- наши глаза воспринимают идущий от предмета свет, что в мозг приходит ошибочная информация;
- при нарушении передачи информационных сигналов по нервам происходят сбои, что опять же приводит к ошибочному восприятию;
- мозг не всегда правильно реагирует на сигналы, проходящие от глаз.

Часто иллюзии возникают сразу по двум причинам: являются результатом специфической работы глаз и ошибочного преобразования сигнала мозгом.

Виды оптических иллюзий по происхождению.

По происхождению оптические иллюзии делятся на три вида:

- естественные, или созданные природой (мираж);
- искусственные, или придуманные человеком (фокус «левитация»);
- смешанные, то есть естественные иллюзии, воссозданные человеком.

Между естественными и искусственными иллюзиями есть существенное различие. Если иллюзия придумана человеком, то она обязательно имеет конструктивный секрет и после сообщения его наблюдателю во многом теряет свою загадочность. Естественные же и смешанные иллюзии не изменяют силы своего воздействия, независимо от того, знает наблюдатель их секреты или нет.

Нужно заметить, что оптические иллюзии рождаются не обязательно в результате игры света и тени. Так, в основе уже упомянутой иллюзии «летающая дама» лежит хитроумная механическая конструкция.

Зрительные иллюзии в жизни

#### *Иллюзии в архитектуре*

Оптические иллюзии не являются чем-то новым в архитектуре. Греческий Парфенон, построенный 25 веков назад, является типичнейшим примером огромной иллюзии. Но античные мастера не стремились заставить это сооружение выглядеть чем-то, чем оно не является, а хотели подчеркнуть некоторые его черты. Немножко толще угловые колонны, загнутые внутрь пилоны, пол, который в центре на 6 см выше остальных плоскостей - все элементы работают на создание величия и бесмертной красоты Парфенона.

Мозаичные полы Древнего Рима. Архитекторы древнеримской эпохи работали преимущественно с камнем. Однако их знаний по оптике было вполне достаточно, чтобы создавать великолепные оптические иллюзии на полах в технике мозаики.

Мозаичный пол в соборе Сальтас (Аргентина) и на «Саншайн Сити» в Токио - отголосок эстетики Возрождения. В период Ренессанса античные традиции нашли новое звучание, выразившись в творчестве Леонардо и Микеланджело.

«Растаявший дом». Это лишь рисунок на брезенте, которым закрыли парижский дом, находящийся на реконструкции. Идея и воплощение принадлежат художнику Питеру Давали, работавшему для компании. Эта же фирма владеет домом с зеленой листвой, которая словно прорастает из каменных стен.

Последним и самым лучшим примером оптической иллюзии в архитектуре является дом таможенной службы в Мельбурне, Австралия. Каждый этаж дома одинаковой высоты, хотя создается впечатление, будто они то расширяются, то сужаются. Этот дом воспроизводит так называемую «иллюзию стенки кафетерия», которую заметили в 1979 году в одной из кофеен города Бристоль, Англия.

#### *Иллюзии в рекламе*

Оптические иллюзии, беспроницаемо привлекающие внимание потребителя, все чаще появляются не только в журнальной рекламе, но и больших наружных форматах.

Идеи, действительно, эффективные, но уже в какой-то степени предсказуемые. В то время как в малом размере, у такого приема жизненный срок выглядит более долгоиграющим: когда бы ни открыл страницу - движение не прекращается, колеса вращаются, пятна через 30 секунд начинают пропадать.

Нами были отобраны 6 наиболее характерных примеров рекламных объявлений, в которых использовался тот или иной тип из вышеперечисленных. Итак, если говорить об опросе, то для него была подобрана следующая целевая аудитория - молодые люди и девушки в возрасте от 10 до 40 лет, проживающие в Новосибирске, являющиеся работающими студентами, преподавателями, служащими никак не связанными с рекламной/маркетинговой деятельностью. Общее количество опрошенных составило 21 человек, из них - 13 девушек и 7 молодых людей.

Опрос проводился в три этапа. На первом были даны следующие критерии оценки рекламных объявлений:

1. Доброжелательность – отчужденность.
2. Доверие – подозрительность.
3. Оригинальность – банальность.
4. Интерес – равнодушие.
5. Давление – свобода.
6. Честность – нечестность.
7. Смелость – робость.
8. Уверенность – страх.
9. Напряженность - расслабленность.

Опрошенным необходимо было оценить наличие в рекламных объявлениях того или иного признака по шкале от 1 до 10.

На втором этапе респондентам предлагалось закончить фразу «После просмотра рекламного объявления, осталось чувство...». Тем самым, приводился открытый вопрос.

И на третьем этапе опрашиваемые отвечали на уже закрытый вопрос «Запомнили ли Вы марку рекламируемого товара?», то есть, проверялся непосредственно потенциальный экономический эффект рекламных объявлений.

Из наиболее характерных результатов можно отметить следующее.

От первого объявления оставалось ощущение раздражения (четверо опрошенных признались, что глаза даже начинали болеть).

«Недоумение, абсурд», - так было охарактеризовано второе объявление девушкой 28 лет.

А вот, оценивая, например, рекламное объявление Coca-Cola, ни один (!) из респондентов (21 человек) не заметил, что в объявлении написано Coca-Coca.

Если же сравнивать последние три объявления, можно сказать, что не всегда была понятна идея объявления средства для мытья окон (его не поняли шестеро).

#### *Выводы:*

1. В настоящее время в России нет данных по эффективности использования зрительных иллюзий в рекламе, нет исследований с открытыми, общедоступными данными.

2. Необходимо аккуратно применять зрительные иллюзии в рекламе - ИЗБЕГАТЬ ДВУХ КРАЙНОСТЕЙ: манипуляций (недоверие к рекламе в целом усиливается во многом «благодаря» «25 кадру» и подделкам вроде Соса-Соса) и «слишком креативной» работы (могут запомнить только идею, а не марку; могут не понять идею вообще).
3. Хорошо продуманная зрительная иллюзия может стать основным элементом успешного фирменного стиля.
4. В России по сравнению с западными странами применение зрительных иллюзий в рекламе несколько ограничено, но есть и «первопроходцы» вроде «Сбербанка», который достаточно смело, неожиданно обыгрывает свой логотип. Также данные приёмы приходят к нам и в рекламные объявления из глобальных рекламных кампаний, разработанных для всего мира.
5. Некоторые из типов зрительных иллюзий довольно сложно применить при создании рекламных объявлениях (например, эффект последствия). Пока это довольно новое направление по сравнению с более традиционными приёмами, поэтому, изучив и проанализировав возможности зрительных иллюзий, можно найти не один действенный способ создать качественную, яркую и эффективную рекламу.

#### *Иллюзии в цирке*

Иллюзия - показ фокусов, основанных на использовании специальной аппаратуры. Хитроумные аппараты осуществляют всевозможные "загадочные" исчезновения и появления вещей, а также самого артиста или его ассистентов, служат для парения предметов и людей в воздухе, распиливания их или сжигания. Устройство аппаратуры - специальные пружины, двойное дно, скрытые перегородки, особо рассчитанные механизмы, определенная установка зеркал: и т. п. - позволяет артисту вводить зрителя в увлекательное заблуждение.

Все устройства и приспособления иллюзиониста тщательно замаскированы; его действия, так же как и действия ассистентов, детально продуманы и отработаны. Каждый жест артиста или его ассистентов имеет свое назначение, лишние движения недопустимы. Иллюзионисты, как и манипуляторы, широко пользуются отвлекающими приемами. В нужный момент ассистенты могут незаметно загородить иллюзиониста от глаз публики, невидимо передать ему или забрать от него нужный предмет. Словом, роль ассистентов в номерах иллюзионистов весьма ответственна. От них во многом зависит успех выполнения трюков.

В иных случаях иллюзионист без ассистентов вообще не может выступать. Ассистент иллюзиониста должен иметь определенную подготовку, в том числе и физическую. Чтобы спрятаться в очень тесном аппарате, а потом неожиданно появиться, ассистенту требуется акробатическая ловкость - ведь фокус происходит в считанные секунды. Вот почему опытные ассистенты высоко ценятся артистами этого жанра.

В иллюзионном аттракционе недопустимы никакие случайности, ошибки. Однако технически отлично исполненные фокусы - еще не искусство. Чтобы демонстрация отдельных фокусов воплотилась в художественный номер, необходима большая режиссерская работа по определению его композиции, стиля и оформления. И, конечно, от исполнителя требуется подлинное актерское дарование. Создавая обширные программы, фокусники, как правило, сочетают исполнение трюков манипуляции с иллюзионными трюками. Многие интересные фокусы, передававшиеся из поколения в поколение, дошли до наших дней. Нужно отдать должное изобретательности и выдумке фокусников прошлого. Бродячие артисты подчас были и искусными мастерами различных приспособлений, аппаратов. Еще и сейчас используется их реквизит и некоторые из сложных и "хитроумных" аппаратов.

Иллюзионное искусство применяет достижения и науки и техники: движущиеся и звучащие автоматы, "волшебный" фонарь ("Латерна магика") и различные оптические приборы. Значительно расширились возможности жанра за счет открытия новых законов физики и химии в XVIII-XIX вв.

#### *Иллюзии в моде*

Модный мир - мир зрительных иллюзий. При помощи фасона, цвета и декора одежды, формы украшений можно подвергнуть собственный облик кардинальным изменениям, придать чертам лица и линиям фигуры недостающую правильность и гармоничность, изменить пропорции, сохранив при этом индивидуальность и целостность образа.

Создавая костюм на основе иллюзий, необходимо учитывать все особенности внешности и четко знать, что именно нуждается в корректировании. Вертикальные линии и детали одежды (полосы, стрелки на брюках, длинные шарфы, высокие каблуки) визуальнo стройнят и увеличивают рост. Контрастные вертикальные полосы, идущие по внешним бокам одежды зрительно сужают фигуру, делая силуэт приталенным. Горизонтальные же линии (кокетки, швы, карманы, оборки, ремешки на обуви) полнят и расширяют. Диагональные линии (асимметричные детали, вырезы горловины и под-

резы) привносят в образ динамику, иллюзию движения, скрадывают неправильность форм фигуры. Чем больше диагональные линии стремятся к вертикальным, тем сильнее иллюзия стройности. Клетка увеличивает объём, а круги придают формам соблазнительную округлость.

Зрительные иллюзии, создаваемые цветом способны сильно изменить пропорции тела. Костюм в одном цвете или монохромной гамме даёт видимость высокого роста, выглядит более изысканно и элегантно, тогда как одежда с яркими цветовыми пятнами или построенная на контрасте полнит.

#### *Иллюзии в искусстве*

Многим приходилось видеть и так называемые загадочные, как бы живые, портреты, которые всегда смотрят прямо на нас, следя за нашими передвижениями и обращая глаза туда, куда мы переходим. Эта интересная особенность таких портретов известна очень давно и многим всегда казалась понятной. В давние времена такие портреты вызывали суеверный страх, и этим иногда пользовались служители культа, пугая людей изображениями богов и чудотворцев - иконами, умышленно написанными так, чтобы сеять «Божий страх».

Чем же объясняется такое свойство этих портретов? Во-первых, оно объясняется тем, что зрачки глаз на портрете помещены в середине разреза глаз. Именно такими мы видим глаза, смотрящие на нас, когда же глаза смотрят в сторону, мимо нас, то зрачок и вся радужная оболочка кажутся нам находящимися не в середине глаза, но смещёнными вбок. Когда мы отходим в сторону от портрета, зрачки, конечно, своего положения не меняют - остаются посередине глаз, а так как всё лицо мы продолжаем видеть в прежнем положении по отношению к нам, то нам кажется, что портрет повернул голову и следит за нами.

Наши экспериментальные исследования восприятия иллюзий. Среди учащихся ЮТИ ТПУ был проведен следующий эксперимент: необходимо было подсчитать количество ног у слона, изображенного на рисунке. В эксперименте приняли участие 35 студентов:

4 ноги увидели 55% респондентов;

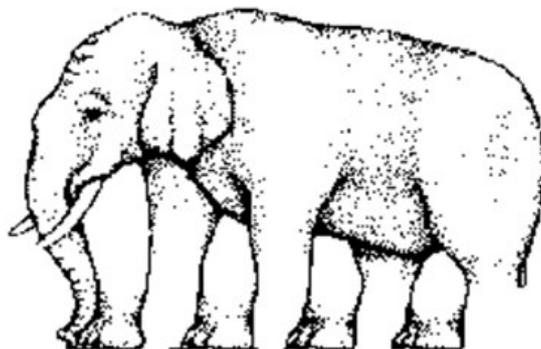
6 ног увидели 19% респондентов;

5 ног увидели 26% респондентов.

25% информации приходит в наш мозг через глаза. Даже если человек живёт без розовых очков, он не всегда реально сможет увидеть ситуацию. Так устроен наш глаз. Зная особенности зрения, человек может анализировать получаемую картинку, понимать, когда глаза его обманывают, а когда изображение полностью реально.

Подобные знания для нас могут существенно облегчить жизнь, избавив от неприятностей связанных со зрительскими обманами. Помогут лучше понимать некоторые природные явления, устройства некоторых предметов (светофор).

Оптические иллюзии зрения сопровождают нас в течении всей жизни. Поэтому знание основных их видов, причин и возможных последствий необходимо каждому человеку.



#### Литература.

1. А. Акбаев. Физика и живая природа. Ижевск: Удмуртский университет 1999.
2. А. А. Вадимов, М. А. Тривас. Иллюзии зрения. М.: Наука, 1971.
3. А. В. Луизов. Цвет и свет 1989.
4. Ежедневное приложение « Физика» к газете «Первое сентября» № 37, 2000.
5. «Физиология человека» - учебное пособие для студентов мед. Институтов под ред. Чл. - кор. АМН СССР Г. И. Косицкого, 1985.
6. «Иллюзии зрения». И. Д. Артамонов, 1969.
7. Я. И. Перельман. Занимательная физика. Т. 1,2. М.: Наука, 1883.

**ДИРЕКТОР ПЕРВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА СИБИРИ - МАТЕМАТИК**

*И.Т. Мазамбекова, студентка группы 17Г41,*

*научный руководитель: Князева О.Г., ст. преподаватель*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Имя Владимира Петровича Алексеевского, магистра чистой математики, исправляющий должность ординарного профессора по кафедре теоретической механики Томского технологического института (ТТИ), статского советника, директора ТТИ (1907 – 1911 гг.), памятно как для истории ТПУ, так и для всей сибирской высшей технической школы. Его жизнеописание (curriculum vitae), основные научные и педагогические достижения, вклад в развитие института на посту директора описаны в книгах Н.Н. Круликовского, Ю.М. Лозинского, В.Н. Беломестных совместно с Л.А. Беломестных, А.В. Гагарина и газетных публикациях в «Сибирской жизни» (некролог, 1916 г.) и «За кадры» (1995 г., Р.А. Галанова; 1998 г. Ю.М. Лозинский). В настоящей заметке авторы имели целью усилить «математический акцент» памяти В.П. Алексеевского.

Родился В.П. Алексеевский 20 апреля 1858 г. в Новгородской губернии, окончил в 1884 г. физико-математический факультет Харьковского университета со степенью кандидата и был оставлен в университете для подготовки к профессорскому званию по математике. Еще в студенческие годы в «Сообщениях математического общества» при Харьковском университете публикует две работы: «Об интегрировании уравнения» и «Заметка об обобщении уравнения Рикатти». В 1893 г. защитил диссертацию на тему «О функциях, подобных функции Гамма» и Советом Харьковского университета ему присуждается ученая степень магистра чистой математики. Сам магистр называл подобные функции «гаммаморфными» с корнями вида  $m\omega + n\omega'$ , где  $m$  и  $n$  – целые отрицательные числа, а  $\omega$  и  $\omega'$  – периоды эллиптических функций. Таких функций бесчисленное множество; они отличаются друг от друга внешним множителем. Подстановкой  $z = \alpha\omega$  корни сводятся к  $m + n\alpha$ , где  $\alpha = \omega'/\omega$ . В частном случае такая функция  $H(x)$  удовлетворяет функциональному уравнению  $H(x+1) = \Gamma(x/\alpha)H(x)$ . Параметр  $\alpha$  не должен быть обязательно мнимым. Если  $\alpha$  – рациональное число, то исследование можно свести к случаю, когда  $\alpha = 1$  и тогда корни становятся кратными. Эту функцию обозначим через  $G(x)$ . Функции  $H$  и  $G$  автор и называет подобными функции «Гамма» ( $\Gamma$ ).

В первых 11 параграфах диссертации, изложенной на 70 страницах, выводятся некоторые свойства функции  $G$ ;  $\log G(x)$  выражается в виде определенного интеграла; выводятся различные формы бесконечных произведений и разложения в ряды; дается формула удвоения аргумента; находятся интегралы, аналогичные интегралам Раабе и Коши для функции  $\Gamma$ ; выводится формула, подобная Стирлинговой; даются некоторые новые выражения для функции  $\Gamma$ .

Следующие 4 параграфа посвящены приложениям. В §16 указан один общий источник происхождения функций, подобных функции  $\Gamma$ . В §§17-19 дается разложение в бесконечное произведение кратных разностных интегралов некоторых функций. В конце диссертации излагаются свойства функции  $H(x)$ .

Исследования Алексеевского вскоре после защиты диссертации стали известны за границей. Этому способствовало и то обстоятельство, что Владимиру Петровичу была предоставлена двухгодичная научная командировка в ведущие университеты Западной Европы. Общение с крупными учеными-математиками было для Алексеевского весьма значимым: в Лейпцигской Академии его работы представил С.Ли (профессор Лейпцигского университета, автор классической теории непрерывных групп), английский математик Барнс (Кембридж) оперирует в своих исследованиях с «Теоремами Алексеевского», последняя главная работа бельгийского математика Бопена по этому вопросу носит название «Функции Алексеевского». По возвращении из командировки Алексеевский назначается учителем математики и физики Старобельской Александровской гимназии, но через полгода по ходатайству Харьковского университета переводится в Харьков на должность приват-доцента университета.

Неожиданное стечение обстоятельств на физико-математическом факультете потребовало от приват-доцента В.П. Алексеевского напряженной преподавательской деятельности. За несколько лет им были прочитаны неоднократно следующие курсы: высшая алгебра, дифференциальное исчисление, интегрирование функций, теория определенных интегралов, интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений, теория линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, вариационное исчисление, теория конечных разностей, теория функций комплексных переменных, эллиптические функции, теория чисел, теория поверхностей. Необходимо к тому

же учесть, что В.П. Алексеевский одновременно читал лекции по всем отделам математического анализа в Харьковском технологическом институте. Исключительно объемная и сложная по содержанию учебная нагрузка не позволила Владимиру Петровичу продолжить свои интересные исследования по теории гаммаморфных функций и написать докторскую диссертацию, которая обеспечила бы ему должность ординарного («полного») профессора.

В плане служебной карьеры В.П. Алексеевского в Харьковском университете дело обстояло незаслуженно досадно, хотя на самом физико-математическом факультете высоко ценили его научный авторитет и преподавательский талант. Пять лет подряд (начиная с 1899 г.) университет возбуждал перед Министерством народного просвещения ходатайство об утверждении приват-доцента в звании и.д. экстраординарного («неполного») профессора. Только на пятый раз Министерство согласилось с мнением университета и утвердило в феврале 1904 г. В.П. Алексеевского в этом звании. Допускаем, что в последнем случае свою положительную роль сыграл блестящий отзыв ученика знаменитого математика (А.Н. Ляпунова) доктора прикладной математики (с 1912 г. академика Петербургской АН, с 1919 г. вице-президента АН СССР), В.А. Стеклова (совместно с профессором Д.М. Синцовым). ... «Из этого краткого обзора видна значительность результатов, полученных В.П. Алексеевским. В этих исследованиях В.П. Алексеевский выступил уже, как видим, серьезным ученым, установившим прочно свое научное достоинство» [1]. Вполне уместно здесь привести из указанного источника мнение А.К. Сушкевича в его аналитическом обзоре «Диссертации по математике в Харьковском университете за 1805-1917 годы»: ... «Диссертация В.П. Алексеевского является подлинно научной работой, а не просто компиляцией, как большинство диссертаций первых 70-ти лет» ...

Известно, что устроитель и первый директор ТТИ Ефим Лукьянович Зубашев, кстати, сам из Харькова (ХТИ), приглашал Алексеевского профессором кафедры математики ТТИ к моменту начала занятий в институте, т.е. в 1900 г. О том, почему Владимир Петрович не согласился тогда и согласился в 1905 г. профессором кафедры теоретической механики ТТИ, как способствовал развитию физико-математического образования и наук в институте и Томске в бытность директором ТТИ, как взаимодействовал с профессорами-математиками института Ф.Э. Молиным и В.Л. Некрасовым, а также другие аспекты жизни и деятельности Алексеевского в Томске вплоть до его кончины 26 мая 1916 г. можно прочитать в [2]. Авторам же остается заключить, что у истоков высшего технического образования в Сибири стояли действительно классные специалисты и одним среди них был Владимир Петрович Алексеевский.

Литература.

1. Ученые записки ХГУ. Т. LXV. Записки математического отделения физико-математического факультета и Харьковского математического общества. 1956. Т. XXIV. Серия 4.
2. Беломестных В.Н., Беломестных Л.А. Физико-математическое образование в высшей технической школе Сибири (на примере Томского политехнического университета). Ч.1. Период Томского технологического института (1900-1925 гг.). Томск: ТГУ, 2000. 178 с.

### **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИКИ В ГЕОЛОГИИ**

*Ш.С. Нозирзода, Ф.А. Хамидова, студенты группы 10741,*

*научный руководитель: Гиль Л.Б., к.пед.н., доцент,*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: ssn5@tpu.ru*

Сфера применения математики в геологических исследованиях расширяется с каждым годом. Повышенный интерес к математическим методам связан с необходимостью обобщать и анализировать фактический материал, накопленный в результате многолетних исследований. Этому способствует также бурное развитие средств вычислительной техники, позволяющей хранить, извлекать, передавать и обрабатывать большие объемы информации. Предполагается, что применение компьютерных технологий в обозримом будущем обусловит переход геологи на качественно новый уровень. В связи с этим необходимы знания и навыки, позволяющие геологу правильно сформулировать задачу, оценить возможности предлагаемых способов ее решения и грамотно интерпретировать результаты.

Математические методы в геологии – использование математических методов в геологических исследованиях обеспечивает воспроизводимость результатов, позволяет максимально унифици-

ровать форму представления материала и производить его обработку сообразно системе строгих, логически непротиворечивых правил. Применение математических методов в геологии сопряжено с двумя целевыми аспектами: 1) получением практических выводов из существующих теоретических представлений и моделей геологии; 2) совершенствованием теоретических представлений и моделей геологии. Внедрение математики в практику геологических работ подчинено четырем основным взаимосвязанным направлениям: 1) обработке числовых результатов наблюдений (методы теории вероятностей и математической статистики, математический анализ, теория игр, геометрические методы и др.); 2) исследованию качественных характеристик (математическая логика, прикладная кибернетика); 3) реконструкции геологических процессов и прогноз (моделирование с использованием различных математических аппаратов); 4) оптимизации процессов сбора, хранения, поиска и обработки геологической информации (теория информации и техническая документалистика). Эффект математизации целесообразно оценивать по результатам решения двух основных задач – научной (разработка теории, повышение надежности выводов, минимизация субъективного элемента в работе исследователя) и экономической (оперативность заключений, сокращение затрат времени на производимые работы и их удешевление).

При геологических исследованиях быстрыми темпами накапливается большое количество геологической информации: результаты геологической документации буровых скважин, горных выработок и естественных обнажений, спектральных и химических анализов руд, горных пород и минералов, данные геофизических и геохимических измерений и др. Одно из важнейших направлений научно-технического прогресса в геологии состоит в широком внедрении автоматизированных методов накопления, хранения, обработки и передачи геологической информации с целью повышения эффективности геологических исследований.

Научно-техническая революция в области информатики и вычислительной техники обусловила широкое внедрение в геологическую отрасль компьютеров и современных методов обработки геологической информации. Успешное использование математических методов и компьютеров невозможно без повышения уровня математического образования. Предлагаемый учебник в какой-то мере восполняет этот пробел. Читатель сможет получить представление о принципах и особенностях математического моделирования геологических объектов и явлений, овладеть основными методами математической, преимущественно статистической, обработки геологической информации и научиться применять их для решения геологических задач.

Любые методы обработки экспериментальных данных содержат в своей основе явную или неявную модель изучаемого объекта или происходящего с ним явления (события). Математическая модель – это совокупность представлений, предположений, гипотез и аксиом, отражающих существо изучаемого геологического объекта или явления. Модель выражается в математической форме и позволяет описывать, анализировать и прогнозировать свойства геологических объектов или последствия явлений.

В основе математического моделирования лежит принцип системного подхода. Для исследования выделяются объект или группа одно порядковых объектов, которые рассматриваются как отдельная система, имеющая какие-то физические или условные границы и внутренние связи между частями или свойствами. Геологические объекты, расположенные за пределами системы, являются по отношению к ней окружающей средой.

Геологические системы являются весьма сложными структурами, находящимися под влиянием большого числа трудно учитываемых факторов, поэтому математическое моделирование не может дать их исчерпывающую характеристику. Следовательно, любая математическая модель является приближенным отражением реальных природных систем и для каждой природной системы можно построить несколько математических моделей различной степени сложности. Обычно по мере усложнения математической модели повышается достоверность прогнозирования и надежность выводов. Но существует оптимальная степень сложности математических моделей, такая, при которой дальнейшее усложнение не будет повышать достоверность прогнозирования и может даже ухудшить работоспособность модели. Нередко степень сложности математических моделей ограничивается техническими возможностями вычислительной техники.

Последовательность операций математического моделирования можно показать на пример.

Рудное тело имеет длину по простиранию  $a = 500$  м, по падению  $b = 200$  м, видимую среднюю мощность на дневной поверхности  $m = 8$  м, угол падения  $\alpha = 65^\circ$ . Необходимо оценить объем рудного тела.

Из условия задачи понятно, что определена система (объект исследования) – рудное тело, измерены его параметры: размеры по простиранию и падению, мощность и угол падения, т.е. выполнены две операции моделирования.

Наиболее ответственна третья операция – создание геологической модели рудного тела. Возможно несколько альтернативных вариантов предположений о форме рудного тела:

- а) рудное тело сохраняет протяженность и мощность на глубине, т.е. имеет форму параллелепипеда;
- б) рудное тело выклинивается на глубине в линию, т.е. имеет форму клина;
- в) рудное тело выклинивается на глубине в точку, т.е. имеет форму пирамиды.

Возможны и другие предположения о форме рудного тела на глубине. При существующем объеме геологической информации сделанные предположения о форме рудного тела равновероятны. Четвертая операция – это выражение в виде математических формул геологических предположений о форме рудного тела. Предварительно необходимо уточнить, как ориентирована видимая мощность. Положим, что она горизонтальная, тогда истинная мощность рудного тела  $m_{ист} = m \sin \alpha$ . Запишем три формулы объема:

- а) объем параллелепипеда  $V = abm \sin \alpha$ ;
- б) объем клина  $V = 1/2 abm \sin \alpha$ ;
- в) объем пирамиды  $V = 1/3 abm \sin \alpha$ .

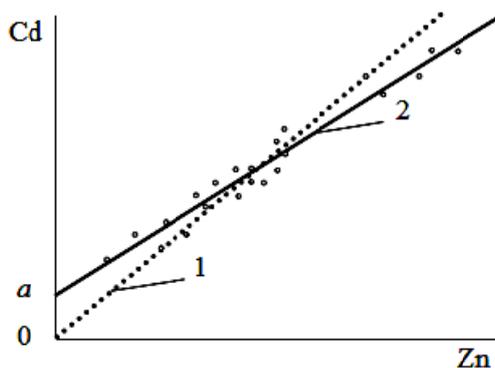


Рис. 1. Пропорциональная (1) и линейная (2) зависимости между содержаниями цинка и кадмия

Из сравнения формул видно, что объем рудного тела существенно зависит от предположения о его форме, различаясь по вариантам в 3 раза.

Пятая операция – вычисление (прогнозирование) объема рудного тела по приведенным формулам:

- а) объем параллелепипеда  $V = 725,0 \text{ тыс.м}^3$ ;
- б) объем клина  $V = 362,5 \text{ тыс.м}^3$ ;
- в) объем пирамиды  $V = 241,7 \text{ тыс.м}^3$ .

Шестая операция – проверка совпадения вычисленного и фактического объемов. Очевидно, что фактический объем рудного тела установить трудно. Это требует проведения дополнительных работ, например детального изучения рудного тела на глубине с помощью разведочных выработок или добычи руды. Предположим, что рудное тело добыто и его объем оказался  $350 \text{ тыс.м}^3$ , тогда можно заключить, что ближе всего к истине второй вариант (выклинивание рудного тела в линию). Погрешность прогнозирования объема рудного тела по второму варианту в абсолютном выражении  $\delta = 362,5 - 350 = 12,5 \text{ тыс.м}^3$ , в относительном  $12,5/350 = 0,036 = 3,6 \%$ .

Литература.

1. Поротов Г.С. Математические методы моделирования в геологии: Учебник / Г.С.Поротов. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2006. –223 с.
2. Шаталов И.И. Моделирование месторождений и рудных полей на ЭВМ: Учебное пособие / И.И.Шаталов, В.И.Щеглов. М.: Недра, 1989. – 150 с.
3. Сапрыкин А.С. Математические методы в горном деле // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и учащейся молодежи. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 608.

## КУРЕНИЕ И ПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ

А.А. Садыков студент гр. 10741, А.Э. Файзуллоев, студент гр. 17В41,

научный руководитель: Гиль Л.Б., к.пед.н., доцент,

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: aas159@tpu.ru

Если 40–50 лет назад курение считалось более или менее невинным занятием, то уже за последние 25–30 лет ученые доказали, что эта привычка очень опасна. Многие специалисты признают, что курение – это медленное самоубийство. Цель нашей работы: исследовать с помощью математических методов влияние табакокурения на эффективность познавательной деятельности студентов.

На первом этапе нашей работы, используя научную, научно-популярную литературу и интернет-ресурсы, мы проанализировали различные математические (статистические) исследования о вреде табакокурения. Так, например, Джона Ланга (John Lang) из Университета Ватерлоо в Канаде и его приятели собрали большое количество данных о курении, изучили то, как его популярность связана с типами обществ и создали *математическую модель* того, как поведение в курении передается через общество. Они говорят, что их результаты могут объяснить скорость изменения в поведении курильщиков в различных промышленно развитых странах. Принципиальная разница связана с уровнем индивидуализма в каждом обществе. Возможно, наиболее ярко эту разницу они отметили на примере США и Швеции (см. рис. 1).

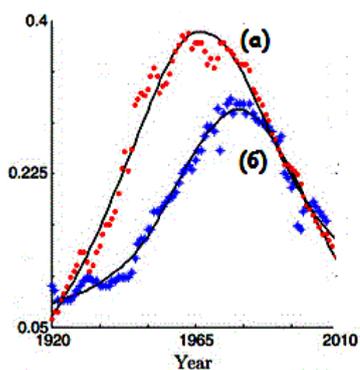


Рис. 1. Рост и падение количества курящих в США (а) и Швеции (б) в период с 1920 по 2010 года

Отличительной особенностью между шведским и американским обществом является уровень индивидуализма. По сути, это акцент на ценности личности, а не взаимозависимости: индивидуализм против коллективизма. В 1920 году сравнительно небольшая часть обеих стран курила, менее 10%. В США эта доля резко выросла до чуть менее 40% в 1965 году, а затем снизилась до чуть менее 20% в 2010. С другой стороны, в Швеции число курильщиков достигло максимума на уровне около 30% в начале 70-х, а затем сократилось примерно до 20% в 2010 году. Таким образом, шведы позже начали курить, достигнув своего пика также позже, а затем стали бросать курить медленнее, чем американцы. При этом шведы имели доступ ко всем данным о вреде курения примерно в то же самое время. Общество в таких странах, как США, Великобритания и Австралия, как правило, поддер-

живают индивидуализм, в то время как общество Швеции, Франции и Японии уделяют гораздо больше внимания коллективизму. Другими словами, в этих странах сильнее социальное давление.

Статистические данные показывают:

- что животные гибнут под действием никотина. Подсчитано, что смертельная доза никотина для человека составляет 1 мг на 1 кг массы тела, т. е. около 60-70 мг для студента-первокурсника. Тогда и родилась знаменитая фраза: «Капля никотина убивает лошадь». Если быть точным, то капель чистого никотина можно убить не одну, а три лошади;
- привыкание к табаку формируется от нескольких недель до 10 лет в зависимости от особенностей организма и интенсивности курения. У человека, привыкшего к курению, в случае резкого прекращения курения наблюдается абстинентный синдром (ломка), который выражается в головной боли, колебании артериального давления, болях в области сердца, желудка, могут наблюдаться кишечные расстройства, повышенная потливость, слабость, вялость, нервозность, подавленность;
- среди больных язвенной болезнью курильщики составляют – 98 %;
- смертность новорожденных у курящих матерей на 28% выше, чем у некурящих;
- каждая сигарета сокращает жизнь на 8-15 минут. Если человек курит в день от 1 до 9 сигарет, то сокращает свою жизнь (в среднем) на 4,6 года по сравнению с некурящими; от 10 до 19 сигарет – на 5,5 года; от 20 до 30 сигарет – на 6,2 года;

- люди, которые в детском возрасте подвергались воздействию табачного дыма, но сами курить не начали, все равно имеют повышенный шанс (до 60%) заболеть раком;
- ежегодно в России от причин, связанных с курением, умирают 300 тысяч человек. 52,1% всех раковых заболеваний у мужчин и 5,2% у женщин связаны с курением;
- из-за увеличения потребления табачных изделий в России заболеваемость раком лёгких за последние 10 лет выросла на 63%, 20-30% случаев смерти от ишемической болезни сердца и 10-15% от заболеваний головного мозга также непосредственно связаны с курением;
- 90% онкологических заболеваний вызвано курением.

Курение наносит огромный вред не только курильщику, но и другим людям. В окружающую среду уходит 50% табачного дыма, который вдыхают те, кто находится рядом с курильщиком, это явление называют пассивным курением. Нередко пассивный курильщик страдает больше, чем активный. Человек, который вынужден постоянно находиться в комнате, где курят другие, быстро утомляется, и у него падает работоспособность, что в дальнейшем приводит к снижению работоспособности.

В течение нескольких лет ученые проводили наблюдение над 200 курящими и 200 некурящими студентами. А теперь посмотрим, какими оказались сравнительные результаты (см. табл.1).

Таблица 1

Сравнительные результаты курящих и некурящих студентов

	курящие	не курящие
1. Нервные	14%	1%
2. Понижение слуха	13%	1%
3. Плохая память	12%	1%
4. Плохое физическое состояние	12%	2%
5. Плохое умственное состояние	18%	1%
6. Нечистоплотны	12%	1%
7. Плохие отметки	18%	3%
8. Медленно соображают	19%	3%

На втором этапе нашего исследования с целью анализа отношения отношение к данной проблеме в нашем вузе, мы провели анонимный опрос среди студентов и преподавателей, в котором приняли участие 45 человек.

В результате анализа полученных данных выяснилось:

- 36 % всех опрошенных пробовали хоть раз курить;
- курят иногда или постоянно 10 % опрошенных;
- 58 % родителей опрошенных курят;
- подавляющее большинство респондентов безразличны к окружающим их курящим людям, но 76 % уверены, что курение вредит обществу в целом;
- 22 % респондентов не знают причин, приводящих к зависимости от курения, и не уверены, что курение помогает отвлечься от нерешенных проблем (52 %);
- 67% всех опрошенных уверенно сказали, что информации о вреде курения им достаточно.

■ А) курю ■ Б) не курю ■ В) иногда

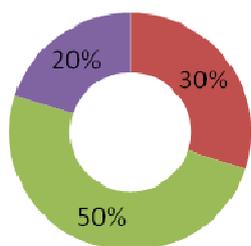


Рис. 2. Диаграмма «Курите ли Вы?»

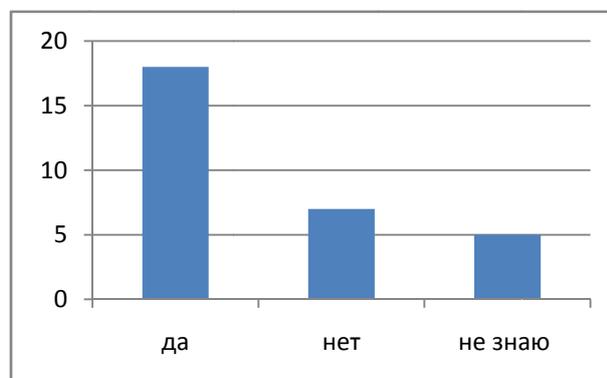


Рис.3. Диаграмма «Влияет ли курение на ваши познавательные способности»

На третьем этапе нашего исследования мы определяли степень связи между курением студентов и их успешностью в познавательной деятельности (здесь мы использовали успешность при изучении математики). Для этого мы использовали метод корреляционного анализа – определили степень связи между переменными  $X$  и  $Y$ , где  $X$  – переменная величина, принимающая значения 2, 1, 0 (курю, курю иногда, не курю),  $Y$  – переменная величина, принимающая значения 2, 3, 4, 5 (оценки по математике). Результаты показали обратную среднюю связь (величина коэффициента корреляции – 0,63), т. е. оценки у курящих в среднем ниже, чем у некурящих.

Наше исследование согласуется с исследованиями Лондонского королевского колледжа, которые показали, что на уровень познавательных способностей, в том числе память и исполнительные функции (планирование, мотивация, управление импульсами) курение оказывает отрицательное влияние больше, чем высокое артериальное давление. Анализ различных информационных источников показал, что постепенно накапливаются результаты исследований, проведенных и в других странах, свидетельствующие о том, что у курильщиков происходит более быстрая потеря различных функций головного мозга (интеллекта), а значит и познавательных способностей.

Литература.

1. О вреде курения с точки зрения математики [Электронный ресурс] // URL: <http://nsportal.ru/shkola/mezhdistsiplinarnoe-obobshchenie/library/2013/01/16/o-vrede-kureniya-s-tochki-zreniya>.
2. Математики выяснили, от чего зависят темпы распространения социальных эпидемий в разных странах [Электронный ресурс] // URL: <http://www.qwert.ru/news/2432>.
3. Курение старит мозг сильнее, чем высокое давление [Электронный ресурс] // URL: <http://www.vechnayamolodost.ru/pages/vashezdorovyе/kurstmosichevydac3.html>.
4. Проект против курения [Электронный ресурс] // URL: <http://ne-kurim.ru/tags/proekt-protiv-kureniia/>
5. Россияне против курения [Электронный ресурс] // URL: <http://www.takzdorovo.ru>.

### МАТЕМАТИКА В ЖИЗНИ ОБЩЕСТВА

*К.С. Саттыбаева, студентка гр. 10А41, В.А. Журавлев, ст. преп.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: df1999@mail.ru*

Название «математика» происходит от греческого слова «матейн» (mathein) – учиться, познавать. Древние греки вообще считали, что понятия «математика» (mathematike) и «наука», «познание» (mathema) – синонимы. Им было свойственно такое понимание универсализма этой отрасли знания, которое два тысячелетия спустя выразил Рене Декарт, писавший: «К области математики относят науки, в которых рассматриваются либо порядок, либо мера, и совершенно не существенно, будут ли это числа, фигуры, звезды, звуки или что-нибудь другое...; таким образом, должна существовать общая наука, объясняющая все, относящееся к порядку и мере, не входя в исследования никаких частных предметов...»

Роль математики в современной науке постоянно возрастает. Это связано с тем, что, во-первых, без математического описания целого ряда явлений действительности трудно надеяться на их более глубокое понимание и освоение, а, во-вторых, развитие физики, лингвистики, технических и некоторых других наук предполагает широкое использование математического аппарата. Более того, без разработки и использования последнего было бы, например, невозможно ни освоение космоса, ни создание электронно-вычислительных машин, нашедших применение в самых различных областях человеческой деятельности.

За время своего существования человечество прошло огромный путь от незнания к знанию, и от неполного знания, к более полному и совершенному. Несмотря на то, что этот путь привел к открытию многих законов природы и к построению захватывающе интересной картины мира, каждый день приносит новые открытия, новое проникновение в недостаточно изученные, а порой и полностью неизвестные тайны природы. Но для того, чтобы продвинуться в область неизведанного как можно дальше и поставить на службу обществу новые силы природы, наука должна смело врываться в те области знания, которыми человечество интересовалось еще недостаточно серьезно или которые из-за сложности господствующих там явлений казались недоступными нашему познанию.

На глазах нашего поколения наука сделала колоссальный шаг в изучении законов природы и в использовании полученных знаний. Достаточно сказать о поразивших воображение успехах в покорении космоса и исследованиях внутриатомных явлений, а также о первых операциях на сердце. То, что было так недавно еще неизвестным, за пределами представлений людей и тем более вне их практической деятельности, теперь стало привычным и вошло в нашу жизнь. Успехи медицины позволили вернуть к активной жизни многих, казалось бы, безнадежно больных людей, для которых была потеряна радость восприятия красоты окружающего мира.

Математика начинает приобретать все большее значение в экономике, организации производства, а также в социальных науках.

Положение математики в современном мире далеко не то, каким оно было сто или даже только сорок лет назад. Математика превратилась в повседневное орудие исследования в физике, астрономии, биологии, инженерном деле, организации производства и многих других областях теоретической и прикладной деятельности. Многие крупные врачи, экономисты и специалисты в области социальных исследований считают, что дальнейший прогресс их дисциплин тесно связан с более широким и полным использованием математических методов, чем это было до настоящего времени.

За тысячелетия своего существования математика прошла большой и сложный путь, на протяжении которого неоднократно изменялся ее характер, содержание и стиль изложения. От первичных представлений об отрезке прямой как кратчайшем расстоянии между двумя точками, от предметных представлений о целых числах в пределах первого десятка математика пришла к образованию многих новых понятий и сильных методов, превратившись в мощное средство исследования природы и гибкое орудие практики. От примитивного счета посредством камешков, палочек и зарубок на стволе дерева математика развилась в обширную стройную научную дисциплину с собственным предметом исследования и специфическими глубокими методами. Она выработала собственный язык, очень экономный и точный, который оказался исключительно эффективным не только внутри математики, но и в многочисленных областях ее применений.

Как ни велики успехи научного познания, мы замечаем множество проблем, еще недостаточно исследованных и требующих дополнительных усилий, порой очень значительных. Назовем процессы мышления, причины развития психических заболеваний, управление познавательной деятельностью. В то же время мы все отдаем себе отчет в том, как важно возможно быстрее продвинуть вперед наше понимание этих явлений. Действительно, если бы нам были известны достаточно точно процессы мышления, то это позволило бы облегчить и ускорить обучение детей и взрослых, приобрести новые возможности в лечении психических заболеваний. Но эти задачи настолько сложны, что чисто экспериментальными путями их разрешить нет никаких надежд. Необходимо привлечь совсем иные возможности познания, в частности путь математического моделирования этих процессов и последующего получения логических следствий, уже доступных непосредственному наблюдению. Этот прием оправдал себя во многих областях знания: в астрономии, физике, химии и пр.

Мы до сих пор говорили о математике лишь как об орудии исследования в других областях знания и практической деятельности. Этот аспект тесно связан с прогрессом самой математики, с расширением поля ее исследований, развитием ее основных понятий и созданием новых концепций. Пока же мы ограничились лишь взглядом на нее с позиций потребителя, с позиций определения ее ценности для развития человеческой культуры и общественного благосостояния. В этом плане математика занимает совершенно выдающееся положение. И хотя она сама не производит материальные ценности и непосредственно не изучает окружающий нас мир, она оказывает в этом неоценимую помощь человечеству.

Математика всегда сопровождала человека в жизни. Она помогает развитию других наук, она развивает у человека такие важные качества личности, как:

- логическое мышление;
- целеустремленность, сильную волю;
- устойчивое внимание, сосредоточенность;
- хорошую память;
- умение логически мыслить: сравнивать, сопоставлять, классифицировать;

- способность к творчеству и научной фантазии;
- чувство предвидения;
- умение прикидывать и оценивать результаты;
- работоспособность;
- четкость и реализм в своих суждениях и выводах;
- находчивость и смекалку;
- чувство юмора.

Мир без нее был бы неинтересен. Не было бы научных открытий. Люди не могли бы исследовать моря, океаны, атом не служил бы нам. Без математики мы не знали бы Ломоносова. Первой книгой, оказавшейся в его руках, была «Арифметика» Леонтия Магницкого, которую потом великий Ломоносов назовет вратами своей учености. Не будь математики, мир не знал бы Юрия Гагарина, совершившего 12 апреля 1961 года полет в космос на корабле «Восток». А телевидение! Сплошная математика.

С математикой мы встречаемся везде, на каждом шагу, с утра и до вечера. Просыпаясь, мы смотрим на часы; в трамвае или троллейбусе нужно рассчитаться за проезд; чтобы сделать покупку в магазине, нужно снова выполнить денежные расчеты и т. д. Без математики нельзя было бы изучить ни физику, ни географию, ни черчение.

Кто-то из вас, возможно, думает, что различные замысловатые линии и поверхности можно встретить только в книгах учёных математиков. Однако это не так. Стоит внимательно присмотреться, и мы сразу обнаружим вокруг нас всевозможные геометрические фигуры. Оказывается, их очень много, просто раньше мы их не замечали. Вот комната. Все её стены, пол и потолок являются прямоугольниками, а сама комната – параллелепипед.

Математика нужна всем людям на земле. Без математики человек не сможет решать, мерить и считать. Невозможно построить дом, сосчитать деньги в кармане, измерить расстояние. Если бы человек не знал математику, он бы не смог изобрести самолёт, автомобиль, стиральную машину, холодильник, телевизор и другую технику или программу. Математика нужна в истории, в жизни, физике, черчении и даже в русском языке. Математика позволяет человеку думать. Математика нужна в повседневной жизни: например, при кройке шитья, приготовления пищи или при денежных вопросах.

Заключение. Поскольку математика представляет по своей природе всеобщее и абстрактное знание, она в принципе может и должна использоваться во всех отраслях науки. Математику можно отнести к всеобщим наукам. В самом деле, она считается всеобщей и абстрактной наукой, поскольку математический аппарат в принципе может использоваться и практически используется во всех без исключения областях знания. Задача математики состоит в описании того или иного процесса с помощью какого-либо математического аппарата, то есть формально-логическим способом. Говоря о предмете и функциях математики, очевидно, что в современной науке все более ощутимой становится интегрирующая роль математики, поскольку она является всеобщей научной дисциплиной. Функции математики в равной мере являются функциями гуманитарными, поскольку направлены на совершенствование материальной и духовной сфер человеческого бытия.

Таким образом, математика своими специфическими средствами способствует решению целого комплекса гуманитарных задач и имеет большое значение в жизни общества.

Нет сомнений, что математика и математический стиль мышления совершают сейчас триумфальный марш как в науке, так и в ее применениях. Учащиеся, студенты должны в какой-то мере почувствовать это и относиться к математике с большим интересом, увлечением и пониманием необходимости математических знаний, как для будущей их деятельности, так и для жизни человеческого общества.

Литратура.

1. Б.В. Гнеденко. Математика в современном мире. –М.: Просвещение, 2004. - 128 с.
2. Е.А. Беляев, В.Я. Перминов. Философские и методологические проблемы математики, МГУ, 2001, - 214 с.
3. Непостижимая эффективность математики в естественных науках: 2003, № 10, с. 23.

### ЗАГАДКА КУБИКА РУБИКА

*Р.В. Стаин, студент гр. 17В41, С.В. Соколова, доцент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Самая знаменитая головоломка мира была изобретена в 1974 году венгерским скульптором и профессором архитектуры Эрно Рубиком (Erno Rubik).

Рубик работал преподавателем промышленного дизайна и архитектуры на факультете интерьерного дизайна («Department of Interior Design») будапештской Академии прикладных искусств и ремесел («Academy of Applied Arts & Crafts»).

По одной из версий кубик Рубика изначально создавался как учебное пособие. При помощи него Рубик пытался втолковать воспитанникам основы математической теории групп. Он хотел собрать конструкцию кубика таким образом, чтобы отдельные его элементы могли свободно вращаться на своих местах, не нарушая конструктивного единства всего приспособления.

Вначале игрушка представляла собой набор из 27 деревянных кубиков с разноцветными гранями. В дальнейшем пришлось отбросить все лишнее: в своем первом кубике Рубик оставил всего 54 внешние грани: одноцветные у шести центральных кубиков, двухцветные у двенадцати боковых, и трехцветные у восьми угловых.

На место единственного «внутреннего» кубика был помещен цилиндрический скрепляющий механизм, который был прочно связан со всеми наружными кубиками, но позволял им свободно вращаться друг относительно друга.

В качестве первоиспытателей головоломки выступали друзья и студенты подведомственной Академии. В 1975 году Рубик получил венгерский патент на свое изобретение.

Первым производителем кубика был небольшой будапештский кооператив, выпустивший кубик как новогоднюю игрушку под названием «Волшебный Кубик» («Buvuos Koska») к Рождеству 1978 года.

Успеха кубик Рубика добился в 1980 году, когда лицензию на его производство купила компания «Deal Toy Corporation» (именно она дала головоломке имя «Rubik's Cube» (кубик Рубика)).

В дальнейшем это название закрепилось в большинстве языков мира, за исключением венгерского, немецкого, португальского и китайского, где распространённым осталось его первоначальное наименование «Магический куб», а также в иврите, где его называют «венгерским кубиком».

Чтобы изучить феномен кубика Рубика, английские психологи провели необычный эксперимент. Они дали собрать головоломку человекообразным обезьянам. Шимпанзе вначале с чрезвычайным интересом отнеслись к ней, но затем стали беспокоиться, беспокойство перешло в сильное волнение, сравнимое с отчаянием. Одна из обезьян выбросила кубик подальше от клетки, другая пыталась его съесть, третья в злобе разломала на мелкие кусочки.

Однако популярность кубика Рубика вскоре начала спадать. И уже в 1983 году найти игрушку на прилавках магазинов было практически невозможно.

В 1985 году английская фирма Seven Towns перекупила права у «Ideal Toy Corporation» на кубик Рубика и в 1991 году возобновила его продажи.

Вторая волна популярности кубика Рубика началась в 1996 году, когда усилиями владельца «Seven Towns» Тома Кремера продажи игрушки в США составили 300 тысяч штук, а в Великобритании годом позже – 100 тысяч штук.

Даже глобальная компьютеризация не смогла уменьшить популярности кубика – в 1990-ые годы был создан виртуальный кубик Рубика для «Windows». В настоящее время собрать кубик предлагает большинство игровых сервисов всемирной электронной паутины.

Посоревноваться в скорости собирания кубика Рубика можно не только в Internet – раз в два года Всемирная Кубическая Ассоциация («World Cube Association») проводит чемпионаты мира по скоростной сборке кубика «Рубика». Последний чемпионат мира состоялся 5-7 ноября 2007 года в Будапеште (Венгрия), в 2009 году он пройдет с 9 по 11 ноября в Дюссельдорфе (Германия).

Первый чемпионат мира состоялся в 1982 году в Будапеште. В нём приняли участие представители 19 стран – победители в национальных чемпионатах. Для решения предлагались три задания. Засчитывалось лучшее время из трёх попыток. Каждый участник состязания получал новый кубик фирмы «Политойс». Все кубики были одинаково сложно запутаны 25-30 вращениями с помощью ЭВМ. Компьютер программировался как генератор случайных чисел и неизвестным заранее образом определял поворачиваемую грань кубика, направление и угол поворота. До начала отсчета времени каждому участнику соревнования давалось 15 секунд для изучения исходной раскраски кубика и выбора пути реше-

ния. От участников соревнования требовалось собрать кубик не более чем за 60 секунд. Лучшее время сборки – 22,95 секунды показал 16-летний студент из Лос-Анджелеса Минх Тхай.

5 февраля 2009 года на ярмарке игрушек в Германии был представлен новый вариант кубика Рубика, получивший название «Рубик 360», который представляет собой три помещённые друг в друга прозрачные сферы. В самом центре находятся шесть разноцветных шаров, которые нужно вывести наружу. В продажу «Рубик 360» поступит в августе 2009 года.

### **Цифры и факты**

Кубик Рубика сразу вызвал интерес в научной среде. Сборке кубика Рубика посвящено несколько десятков книг и статей. Советский журнал «Наука и жизнь» на протяжении нескольких лет в каждом номере уделял место кубику Рубика. Кроме того, там публиковались чертежи для изготовления кубика, который в СССР был дефицитом.

Разработка и доказательство минимально возможной последовательности ходов сборки кубика Рубика – так называемый алгоритм Бога, или «God's Algorithm» – представляет собой серьезнейшую математическую задачу.

Математик Томас Рокики при помощи компьютера вычислил, что из любой начальной конфигурации кубик можно собрать за 23 хода (сейчас сократилось до 20).

Собрать кубик Рубика хаотичным перемещением граней практически невозможно: он насчитывает больше 43 квинтильонов различных комбинаций.

Первый мировой чемпионат по сборке кубика Рубика состоялся в Будапеште еще в июне 1982 года. Его выиграл 16-летний студент из Лос-Анджелеса Минх Тхай с результатом 22,95 секунды.

Мировым рекордсменом по сборке кубика Рубика является голландец Эрик Аккерсдийк. Его результат – 7,08 секунды.

Своеобразный антирекорд по сборке кубика Рубика установил британец Грэм Парк: он собирал свой кубик 26 лет, проведя над головоломкой в общей сложности 27 тысяч 400 часов. Он не пользовался «подсказками» по решению головоломки – для него было важно собрать кубик Рубика самому.

Не во всех языках слова «кубик» и «Рубик» так же созвучны, как в русском языке. В венгерском, немецком и португальском языках сохранилось его первоначальное название «волшебный, магический кубик»: «Buvos koska» (венг.), «Zauberwürfel» (нем.), «Cubo Mágico» (порт.). В китайском языке и на иврите его называют «венгерским кубиком».

Помимо «классического» кубика Рубика 3x3x3 существуют кубики со сторонами 4x4x4, 5x5x5, 6x6x6 и «монстры» со сторонами 7x7x7 и более кубиков. За 35 лет существования бестселлер среди механических головоломок менял не только размеры, но и конфигурации. У одних кубиков отсутствует центральная часть, другие изготовлены в форме параллелепипеда или пирамиды, существуют также сиамские, или «сросшиеся» кубики, кубики с усечёнными углами и т. д.

### **Алгоритм Бога**

Каждый блок решения использовал свой алгоритм – последовательность шагов для достижения нужной конфигурации. Например, один алгоритм предназначался для решения верхней грани, а другой – для позиционирования средних краев. Есть множество различных алгоритмов, различающихся по степени сложности и количеству требуемых шагов, но те, которые может запомнить человек, обычно требуют больше 40 шагов.

Разумно полагать, что Бог может использовать более эффективный алгоритм, который решает задачу за наикратчайшее число шагов. Этот алгоритм известен как «алгоритм Бога». Число шагов в худшем случае называется числом Бога. В конце концов, было показано, что это число – 20.

После изобретения Кубика Рубика пятнадцать лет ушло на поиск позиции, которая наверняка решается за 20 шагов. Через 15 лет после этого будет доказано, что 20 шагов достаточно для любой позиции.

### **Симметрия**

Если повернуть Кубик Рубика влево-вправо или вверх-вниз, то, по сути, ничего не изменится: число шагов в решении останется тем же самым. Вместо того, чтобы решать все эти позиции, можно получить решение для одной и распространить его на повернутые позиции. Есть 24 различных ориентации в пространстве и 2 зеркальных положения Кубика для каждой позиции, что позволяет уменьшить число решаемых позиций в 48 раз.

### **Литература.**

1. Кубик Рубика за 20 шагов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/103843/>
2. Механизм Рубика [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://rubik-effects.com/view\\_post.php?id=187](http://rubik-effects.com/view_post.php?id=187).
3. Загадка Кубика Рубика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.btlr.ru/page.php?ID=4317>.

### ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ Г.ЮРГА ПРИ СОВРЕМЕННОЙ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ

*К.В. Стриженко, студент группы 17В41, С.В. Соколова, доцент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Юрга, город областного подчинения в Кемеровской области, узел железнодорожных линий на Новосибирск, Красноярск, Новокузнецк.

В настоящее время важнейшие отрасли экономики в Юрге: машиностроение и металлообработка, производство строительных материалов, деревообрабатывающая, пищевая, полиграфическая промышленность. Основные предприятия: «Юрмаш», «Юргинские абразивы», «Юргинские ферросплавы», «Технониколь», «Юргинский гормолзавод», «Юргахлеб» и другие.

Крупнейшие учебные заведения Юрги: Юргинский технологический институт Томского политехнического университета, промышленно-экономический техникум, техникум отраслевых технологий и права, Юргинский технологический колледж, 3 ПТУ, 18 общеобразовательных школ, детская музыкальная и художественная школы, школа искусств, Детско-юношеский центр, 5 детско-юношеских спортивных школ, спортивный клуб «Темп», спортивный комплекс с бассейном, ДК «Победа», кинотеатр «Эра», клуб «Строитель», 9 городских библиотек, Краеведческий музей, Музей детского изобразительного искусства народов Сибири и Дальнего Востока,

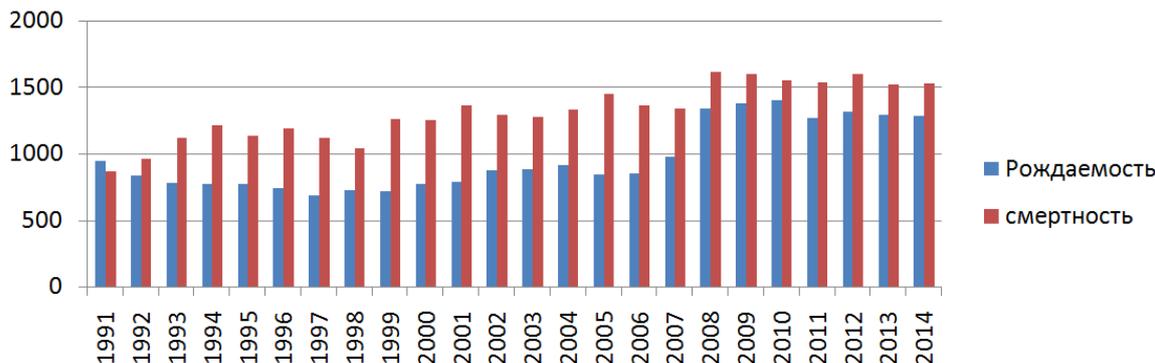
Решение проблем демографии является одной из главных проблем на сегодняшний день.

**Динамика численности населения в г. Юрга**

годы	1992	1996	1998	2000	2001	2003	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
численность населения	94300	88400	86600	85400	84500	85600	84100	83500	83600	83836	83879	81533	81454	81180	81365	81446

После распада СССР и экономического кризиса численность населения начала сокращаться. С каждым годом мы наблюдаем убыль населения нашего города. Об этом свидетельствуют данные таблицы.

Демографической причиной является низкая рождаемость, а также увеличение уровня смертности.



Причинами низкой рождаемости в г. Юрга могут являться:

- Большая часть молодежи переезжает в другие города.
- Сокращается уровень трудоспособного населения.
- Низкая заработная плата.
- Нехватка рабочих мест.

По данным диаграммы мы наблюдаем рост рождаемости в 2007 г. Возможно, на это повлияло социальная защищенность в виде материнского капитала. (На сегодняшний день материнский капитал составляет 408 960,50 руб.).

Сложившаяся в г. Юрга демографическая ситуация может стать существенной причиной усложнения социально-экономического развития. К возможным негативным последствиям сложившихся тенденций могут быть отнесены следующие:

снижение численности населения в трудоспособном возрасте может вызвать дефицит предложения на рынке труда;

сокращение численности детей и подростков приведет к возникновению проблем в формировании трудовых ресурсов, уменьшению объемов подготовки квалифицированных кадров в общеобразовательных и профессиональных начальных, средних и высших учебных заведениях;

увеличение населения в престарелом возрасте повлечет за собой рост нагрузки на сферу социальной защиты и поддержки населения, повышение расходов областного бюджета;

изменения возрастной структуры населения создадут проблемы и для системы здравоохранения, приведут к росту нагрузки на медицинские учреждения.

Необходимость в преодолении неблагоприятных последствий сложившейся ситуации и формировании условий устойчивого социально-экономического развития свидетельствует об актуальности разработки программы демографического развития г. Юрга.

Факторы, влияющие на положение дел в области демографии, можно разделить на материальные и духовно-нравственные.

Материальные - состояние среды обитания и уровень благосостояния семей, обеспеченность жильем, материальное стимулирование рождаемости, степень социальной защищенности семей, качество и доступность медицинского обслуживания, образования, в том числе дошкольного и др.

Духовно-нравственные - формирование у населения установок здорового образа жизни, нравственных и личностных ценностей, возрождение системы массового санитарно-гигиенического просвещения, поднятие престижа материнства, отцовства, многодетности, ориентация молодежи на создание крепкой семьи.

Воспитание семейных ценностей зарождается в семье, но большую роль в этом играют общественные институты. Ответственное отношение к родительству развивается, начиная с дошкольных образовательных учреждений и на протяжении всего периода воспитания молодежи.

Значительное воздействие на общественное сознание оказывают средства массовой информации, рекламная продукция, пропагандистские мероприятия.

Разнонаправленность факторов, влияющих на демографическую ситуацию, и их социальная значимость требуют комплексного межведомственного подхода, решаемого программно-целевым методом.

Мы провели социологический опрос среди студентов ЮТИ ТПУ. Результаты социологического опроса в ЮТИ ТПУ.

#### **Вопросы социологического опроса:**

1. Употребляете ли вы спиртные напитки, табачные изделия, наркотики?
2. Куда планируете идти по окончании ВУЗа?
3. Сколько братьев и сестер у ваших прабабушек и прадедушек, бабушек и дедушек, пап и мам, у вас лично?



На вопросы отвечали студенты ЮТИ ТПУ. Количество опрошенных - 60 человек. Проанализировав данные, мы выяснили, что спиртные напитки употребляют 17 человек, табачные изделия 27, наркотики 0. Из этого следует, что здоровый образ жизни ведут 53% студентов; После окончания ВУЗа студенты планируют уехать в другие города; среднее кол-во детей в семьях прабабушек, прадедушек - 5 детей; среднее кол-во детей в семьях бабушки, дедушки - 3 ребенка; Среднее кол-во детей в семьях родителей - 2 ребенка.

Процесс снижения рождаемости характерен для всех стран с высокой урбанизацией населения, т.е. население из сел переезжают в города и начинают городской образ жизни, часто современные женщины занимаются построением карьеры, а не семейного очага.

На основе данных, которые удалось собрать, можно сделать вывод о том, что население в г. Юрга пока уменьшается. В нашем городе необходимо решать проблему с трудоустройством, откры-

вать новые рабочие места, решать жилищную проблему молодых семей. В области запущены федеральные программы, направленные на увеличение рождаемости. Очень хотелось бы процветания нашего города.

Литература.

1. <http://materinskij-kapital.ru/region/kemerovo>.
2. Статистические данные из ЗАГСа г. Юрга.
3. <http://monogorod.kemobl.ru/URGA/01.asp>.

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДОБЫЧНОГО УЧАСТКА

*В.В. Филипенко, Н.А. Гудим, студенты группы 10741, Л.Б. Гиль, к.пед.н., доцент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: filipenko@tpi.ru*

В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства. В горной промышленности внедрение электричества в подземных выработках несколько задержалось по сравнению с другими отраслями, так как специфические условия в шахтах не позволяли применять обычное электрооборудование. Но уже в 1928 г. наша промышленность начала осваивать производство специального шахтного электрооборудования (двигателей, аппаратов ручного управления, трансформаторов и пр.), которое продолжает непрерывно совершенствоваться. В настоящее время наши шахты в достаточном количестве оснащены самым современным электрооборудованием шахтного исполнения.

При планировании развития, проектировании и управлении режимами электроэнергетических систем (ЭЭС) необходимо решать круг технических и технико-экономических задач, которые имеют аналитический и расчетный характер. Задачи электроэнергетики достаточно сложны, что обусловлено:

- сложностью ЭЭС;
- высокой скоростью и взаимосвязью процессов, протекающих в различных элементах системы в нормальных и аварийных режимах;
- обеспечением надежной работы при различных авариях.

Как следствие, решаемые задачи электроэнергетики являются функциональными, зависящими от многих параметров, громоздкими, требующими сложных и объемных расчётов.

*Цель нашей работы:* рассчитать мощность трансформатора, необходимую для функционирования добычного участка Малеевского рудника (ТОО Казцинк). ТОО Казцинк – крупный интегрированный производитель цинка с большой долей сопутствующего выпуска меди, драгоценных металлов и свинца. Малеевское месторождение было найдено в 18 км от города Зырянск в 1810 году геологом Малеевым, но долгие годы считалось малоперспективным. Лишь в середине 1980-х началось сооружение Малеевского рудника. Сегодня из эксплуатируемых рудников АО «Казцинк» Малеевский крупнейший. Его начальная производительность (1992) составляла 1,5 млн тонн руды в год. По заказу компании к концу 2001 года шахта была расширена, в результате чего производство до 2,25 млн. тонн в год производительностью.

Система электроснабжения добычного участка (рис. 1) разработана нами с помощью точных математических расчётов с учётом требований производства.

Для точного расчёта необходимой мощности трансформатора необходимо знать график нагрузки трансформатора в течение суток. Но ввиду большого разрыва между номинальными мощностями стандартных

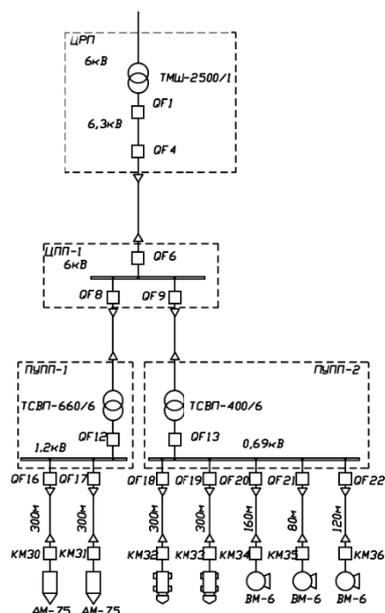


Рис. 1. Принципиальная схема электроснабжения добычного участка

трансформаторов (50, 75, 100, 180, 320 кВт) для определения мощности трансформатора можно воспользоваться ориентировочным расчётом:

$$S_{mp.} = \frac{k_c \cdot \sum P}{\eta_{ов.ср.} \cdot \eta_c \cdot \cos \varphi},$$

где  $\sum P$  – суммарная мощность всех токоприемников, питающихся от данного трансформатора, кВт;  
 $k_c = k_3 \cdot k_0$  – коэффициент спроса, учитывающий загрузку двигателей ( $k_3$ ) и не одновременность их работы ( $k_0$ ). При числе двигателей до 20  $k_0=0,5-0,6$ ;  
 $\eta_{ов.ср.} = 0,8-0,9$  – среднее значение КПД двигателей;  
 $\eta_c = 0,90-0,96$  – КПД сети;  
 $\cos \varphi_{ср} = 0,7+0,8$  – средневзвешенный коэффициент мощности приемников участка.

$$S_{mp.} = \frac{0,55 \cdot 35,5}{0,85 \cdot 0,95 \cdot 0,75} = \frac{19,5}{0,6} = 32,5 \text{ (кВм)}.$$

Т. к. электродвигатели добычного участка относятся к потребителям I категории, питание должно производиться со 100 % резервом. Поэтому устанавливаем два трансформатора, каждый из которых в аварийной ситуации способен обеспечить электроэнергией всех потребителей.

Выбираем трансформаторы ТСВП-660/6 мощностью 660 кВт (рис 2). Трансформатор имеет регулировочные зажимы. Если в реальных сечениях кабеля не удастся уложиться в границы допустимой потери напряжения, то можно использовать отпайки в первичной обмотке трансформатора. Подключая сеть ВН к меньшему числу витков, т. е. к минусовым зажимам, уменьшают коэффициент трансформации на 5% и соответственно увеличивая напряжение на вторичной обмотки.

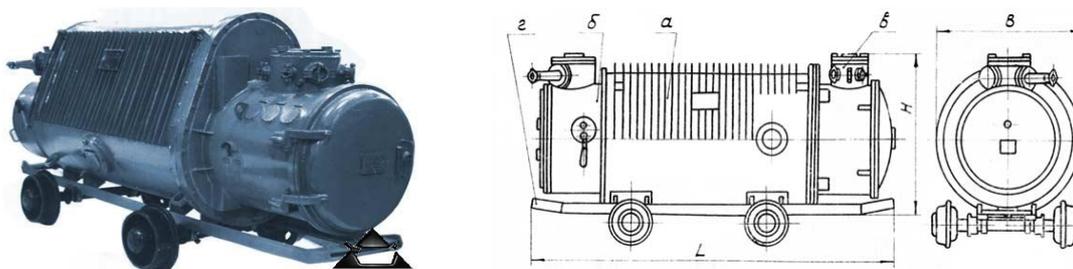


Рис. 2. ТСВП-660/6

Технические данные рудничного трансформатора ТСВП 660/6

Параметры	ТСВП 660 / 6
Ном. мощность, кВт	660
Частота, Гц	50
Ном. первичное напряжение, В	6000±5%
Ном. вторичное напряжение, В	400/690
Напряжение К.З., %	3,5
Потери К.З., Вт	1270
Ток холостого хода, %	3,6
Основные размеры, мм:	
длина	3300
ширина	1020
высота	1430
Масса, кг	2150

Электроприемники I категории электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушения функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Определим номинальный ток для одного двигателя:

$$I_{ном} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot (U \cdot \eta \cdot \cos \varphi)},$$

где P – суммарная мощность электродвигателя;  $\eta$  – КПД двигателей задвижек.

$$I_{ном} = \frac{20000}{1,74 \cdot (6000 \cdot 0,95 \cdot 0,9)} = \frac{20000}{8926,2} = 22,4(A).$$

Номинальный ток общий двух электродвигателей:

$$I_{ном} = \frac{20000 \cdot 2}{1,74 \cdot (6000 \cdot 0,95 \cdot 0,9)} = \frac{40000}{8926,2} = 44,8A.$$

Таким образом, благодаря математике производятся все расчёты электрических режимов в шахте. В настоящее время практически все они выполняются с помощью компьютерных программ, но чтобы между расчётами и реальными процессами было соответствие, необходимы глубокие знания и компетенции специалистов, работающих на предприятии.

Литература.

1. Горная электротехника: учебник для горных техникумов / Ф.И. Самохин, А.М. Левиков, А.М. Маврицын. – М.: Недра, 1972. – 380 с.
2. Математические задачи электроэнергетики: Учебник для студентов вузов / Под. Ред. В.А. Веникова. – М.: Высш. Школа, 1981. – 288 с.
3. Медведева С.Н. Математические задачи в энергетике. Пенза. – 2005.
4. Попов В.М. Водоотливные установки: Справочное пособие / В.М. Попов – М.: Недра, 1990. – 254 с.

### РОЛЬ МАТЕМАТИКИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Р.А. Цыпленков, А.В. Карпов, студенты группы 17Б30,  
научный руководитель: Князева О.Г., ст. преподаватель*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: roman-1994-94@mail.ru*

Для выяснения вопроса "Зачем инженеру нужна математика?", мы обратимся к информационным источникам. Есть ли смысл в изучение математики инженеру, какие результаты могут быть при не знании инженером математики?

Что бы ответить на поставленный вопрос, мы для себя должны уяснить несколько формулировок, что такое математика и что или кто такой инженер. Мы рассмотрим, откуда появилась данная наука, как происходили ее процессы зарождения, становления. Узнаем значение науки в современном мире. Также узнаем, что обозначает слово инженер, его цели, задачи.

Объединив, полученные знания мы сможем, понять какую роль математика играет в жизнедеятельности инженера, какие цели и задачи инженер решает с помощью данной науки. А в заключение составим свой вывод, зачем же нужна математика инженеру.

Математика – наука о количественных отношениях и пространственных формах действительного мира. В неразрывной связи с запросами техники и естествознания запас количественных отношений и пространственных форм, изучаемых математикой, непрерывно расширяется, так что это общее определение математики наполняется все более богатым содержанием.

Счет предметов на самых ранних ступенях развития культуры привел к созданию простейших понятий арифметики натуральных чисел. Только на основе разработанной системы устного счисления возникают письменные системы счисления и постепенно вырабатываются приемы выполнения над натуральными числами четырех арифметических действий. Потребности измерения (количества зерна, длины дороги и т. п.) приводят к появлению названий и обозначений простейших дробных чисел и к разработке приемов выполнения арифметических действий над дробями. Таким образом накапливается материал, складывающийся постепенно в древнейшую математическую науку – *арифметику*. Особенное значение для дальнейшего развития науки имело накопление арифметических в Египте и Вавилонии. В Вавилонии на основе развитой техники арифметических вычислений появились также начатки алгебры.

Только после накопления большого конкретного материала в виде разрозненных приемов арифметических вычислений, способов определения площадей и объемов и т. п. возникает М. как самостоятельная наука с ясным пониманием своеобразия ее метода и необходимости систематического развития ее основных понятий и предложений в достаточно общей форме. В применении к арифметике и алгебре указанный процесс начался уже в Вавилонии. Однако вполне определилось это новое течение, заключающееся в систематическом и логически последовательном построении основ математической науки, в Др. Греции. Созданная древними греками система изложения элементарной геометрии на два тысячелетия вперед сделалась образцом дедуктивного построения математической теории. Из арифметики постепенно вырастает чисел теория. Создается систематическое учение о величинах и измерении. Процесс формирования (в связи с задачей измерения величин) понятия действительного числа оказывается весьма длительным. Дело в том, что понятия иррационального и отрицательного чисел относятся к более сложным математическим абстракциям, которые, в отличие от понятий натурального числа, дроби или геометрической фигуры, не имеют достаточно прочной опоры в донаучном общечеловеческом опыте. Создание алгебры как буквенного исчисления завершается лишь в конце рассматриваемого периода. Период элементарной математики заканчивается (в Зап. Европе в нач. 17 в.), когда центр тяжести математических интересов переносится в область математики переменных величин.

С 17 в. начинается новый период развития математики. Круг количественных отношений и пространственных форм, изучаемых теперь математикой, уже не исчерпывается числами, величинами и геометрическими фигурами. Уже в алгебре в скрытом виде содержится идея зависимости между величинами (значение суммы зависит от значений слагаемых и т. д.). Однако чтобы охватить количественные отношения в процессе их изменения, надо было самые зависимости между величинами сделать самостоятельным объектом изучения. Поэтому на первый план выдвигается понятие функции, играющее в дальнейшем такую же роль основного и самостоятельного предмета изучения, как ранее понятия величины или числа. Изучение переменных величин и функциональных зависимостей приводит далее к основным понятиям математического анализа, вводящим в М. в явном виде идею бесконечного, к понятиям предела, производной, дифференциала и интеграла. Основные законы механики и физики записываются в форме дифференциальных уравнений, и задача интегрирования этих уравнений выдвигается в качестве одной из важнейших задач М. Разыскание неизвестных функций, определенных условиями другого рода (условиями минимума или максимума некоторых связанных с ними величин), составляет предмет вариационного исчисления. Таким образом, наряду с уравнениями, в которых неизвестными являются числа, появляются уравнения, в которых неизвестны и подлежат определению функции.

Все созданные в 17 и 18 вв. разделы математического анализа продолжали с большой интенсивностью развиваться в 19 и 20 вв. Чрезвычайно расширился за это время и круг их применения к задачам, выдвигаемым естествознанием и техникой. Однако помимо этого количественного роста с кон. 18 и в начале 19 вв. в развитии математики наблюдается и ряд существенно новых черт. Накопленный в 17 и 18 вв. огромный фактический материал привел к необходимости углубленного логического анализа и объединения его с новых точек зрения. Связь математики с естествознанием, оставаясь по существу не менее тесной, приобретает теперь более сложные формы. Большие новые теории возникают не только в результате непосредственных запросов естествознания и техники, но также из внутренних потребностей самой математики. В более непосредственной и непрерывной зависимости от запросов механики и физики происходило формирование векторного и тензорного исчислений. Перенесение векторных и тензорных представлений на бесконечномерные величины происходит в рамках функционального анализа и тесно связывается с потребностями современной физики. Таким образом, в результате как внутренних потребностей математики, так и новых запросов естествознания круг количественных отношений и пространственных форм, изучаемых М., чрезвычайно расширяется; в него входят отношения, существующие между элементами произвольной группы, векторами, операторами в функциональных пространствах, все разнообразие форм пространств любого числа измерений и т. п. Существенная новизна начавшегося в 19 в. этапа развития математики состоит в том, что вопросы необходимого расширения круга подлежащих изучению количественных отношений и пространственных форм становятся предметом сознательного и активного интереса математиков. Если прежде, направление, введение в употребление отрицательных и комплексных чисел и точная формулировка правил действий с ними требовали длительной работы, то теперь развитие

науки потребовало выработки приемов сознательного и планомерного создания новых геометрических и алгебраических систем.

В начале 19 в. происходит новое значительное расширение области приложений математического анализа. Если до этого времени основными отделами физики, требовавшими большого математического аппарата, оставались механика и оптика, то теперь к ним присоединяются электродинамика, теория магнетизма и термодинамика. Получают широкое развитие важнейшие разделы механики непрерывных сред. Быстро растут и математические запросы техники. В качестве основного аппарата новых областей механики и математической физики усиленно разрабатывается теория дифференциальных уравнений обыкновенных, дифференциальных уравнений с частными производными и математической физики уравнений.

Существенным дополнением к методам дифференциальных уравнений при изучении природы и решении технических задач являются методы вероятностей теории. Если в начале 19 в. главными потребителями вероятностных методов были теория артиллерийской стрельбы и теория ошибок, то в кон. 19 и в начале 20 вв. теория вероятностей получает много новых применений благодаря созданию теории случайных процессов и развитию аппарата математической статистики.

Практическое использование результатов теоретического математического исследования требует получения ответа на поставленную задачу в числовой форме. Между тем даже после исчерпывающего теоретического разбора задачи это часто оказывается весьма трудным делом. Зародившиеся в кон. 19 и в начале 20 вв. численные методы анализа и алгебры выросли в связи с созданием и использованием ЭВМ в самостоятельную ветвь математика - вычислительную математику.

Отмеченные основные особенности современной математики и перечисленные основные направления исследований науки по разделам сложились в 20 в. В значительной мере это деление на разделы сохраняется, несмотря на стремительное развитие в 20 в. Однако потребности развития самой математики, "математизация" различных областей науки, проникновение математических методов во многие сферы практической деятельности, быстрый прогресс вычислительной техники привели к перемещению основных усилий математиков внутри сложившихся разделов математики и к появлению целого ряда новых математических дисциплин. На основе задач теории управляющих систем, комбинаторного анализа, теории графов, теории кодирования возник дискретный анализ.

В настоящее время, когда необходимость глубокой математической подготовки инженеров не надо обосновывать, когда как в содержательном, так и в организационном плане обособилась сфера технических наук, ставшая объектом философско-методологического анализа, вопрос о значении математики для техники трансформировался в проблему математизации технических наук.

Процесс математизации технических наук фиксируется как феномен при рассмотрении истории технических знаний в той или иной области. Более того, он происходит столь стремительно, что ощущается каждым инженером и инженерным сообществом в целом в виде проблем повышения квалификации, перестройки учебных программ, связанных с быстрым устареванием и сменой используемого математического аппарата.

С внешней стороны математизация технических наук может быть охарактеризована как последовательное расширение и усложнение применяемых в инженерии математического аппарата и методов. Внутренняя, сущностная сторона математизации технических наук может быть раскрыта на основе исследования функций и роли математики в формировании и функционировании технических теорий и анализа их изменений в процессе развития технических наук. Она имеет специфику, обусловленную особым гносеологическим статусом технических наук.

Если в технических науках создается, обосновывается и исследуется набор методов решения инженерных задач, то главным показателем инженерного искусства является выбор такого математического описания и такой точности проводимых решений, которые были бы адекватны поставленной задаче. Этот выбор и оценка результатов решений должны основываться на понимании допущений, лежащих в их основе, на умении физически интерпретировать сложные формализованные решения.

Широкое привлечение сложного математического аппарата и решение прикладных задач привело к формированию научных дисциплин с особым статусом. В 1950-1970-х гг. в развитии технических наук все большую роль стали играть процессы интеграции и обобщения теоретических результатов, полученных в исследованиях инженерных проблем той или иной техники. Появились общеинженерные теории, методы проектирования, дисциплины. Так, в 1950-х гг. анализ условий генерирования незатухающих колебаний в радиотехнических установках, исследование статической и динамической устойчивости энергосистем и ряд других технических задач потребовали широких тео-

ретических обобщений, применения в инженерном деле сложного математического аппарата и методов прикладной математики. Это привело к возникновению в 1950-х гг. теории колебаний – междисциплинарной теории, нацеленной на физико-математический анализ процессов в конкретных динамических системах любой природы.

В 1950-х гг. приобрела междисциплинарный статус и теория электрических цепей, первоначально развивающаяся как базовая электротехническая теория.

Таким образом, теоретическое исследование (познание) в технических науках направлено на построение моделей процесса-оригинала, позволяющих давать математическое описание и получать численное решение для различных режимов функционирования технического устройства. В связи с этим центральный объект гносеологического анализа – исследовательские процедуры и теоретические схематизации технической науки, позволяющие осуществлять переход от структурно-морфологических изображений устройств, на которых разъясняется и анализируется картина протекающих в них процессов в свете поставленной инженерной задачи, к изображению самих процессов, т.е. к математизированной модели процесса-оригинала.

Итак, "гносеологическое пространство" исследовательской деятельности в технических науках располагается между плоскостями естественнонаучных теорий, математических теорий и эмпирическим базисом, формируемым сферой проектирования технических устройств определенного типа. Исследователь – представитель технической науки работает одновременно с теоретическими схемами физической теории, теоретическими схемами технических теорий и с математическим аппаратом, интерпретированным и на физическом, и на техническом содержании. Теоретизирование в этой области характеризуется сознательной исследовательской установкой. Его практика состоит в поиске и научном обосновании способов и средств идеализации познавательных задач, возникающих в сфере инженерной деятельности.

Мы рассмотрели значения, цели, задачи, результаты двух понятий: математика и инженер. Провели аналогию, и нашли взаимосвязь между инженером и математикой. В наш век развития науки и техники, покорения космоса мы видим, что любой специалист квалифицирующийся как инженер (сфера деятельности разнообразна) обязан знать математику, ее направления, законы, теоремы, аксиомы, т.е. все разнообразные инструменты для решения задач своей профессии. Есть старая народная поговорка: "Если математику не знал, не инженером, а монтером стал". Все инженерные изыскания и результаты работ имеют под собой в основе точную науку – математику. Математика нужна инженеру, как база данных, на которой специалист строит свою деятельность, результатом которой являются плодотворные шаги в развитие науки и техники, в жизнеобеспечение людей, функциональности окружающих нас механизмов и материй.

Таким образом, мы узнали, что математика нужна инженеру для прогрессирующего развития науки и техники, для обеспечения и функциональности окружающего нас мира и материй.

Литература.

1. Колмогоров А.Н., Математика, в кн.: Большая Советская Энциклопедия, 2 изд., т. 26, М., 1954.
2. Виноградов И.М., Математика и научный прогресс, в кн.: Ленин и современная наука, кн. 2, М., 1970.
3. Гильберт Д., Бернайс П., Основания математики. Логические исчисления и формализация арифметики, пер. с нем., М., 1979.
4. История математики с древнейших времен до начала XIX столетия, т. 1-3, М., 1970.
5. Математика XIX века. Математическая логика. Алгебра. Теория чисел. Теория вероятностей, М., 1978.
6. Математика XIX века. Геометрия. Теория аналитических функций, М., 1981.

## ОПРЕДЕЛЁННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ С УЧЁТОМ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ НЕОПРЕДЕЛЁННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ В $d$ -АНАЛИЗЕ

*В.А. Чуриков, к.ф.-м.н., доцент,*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*634050, г. Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822) 563-593, e-mail: vachurikov@list.ru*

Одним из обобщений классического анализа является *дробный анализ*, в котором операции интегрирования и дифференцирования (*интегродифференцирования*) обобщаются на вещественные и комплексные порядки [1-3]. Одним из направлений дробного анализа, является  $d$ -анализ, в основе которого лежит  $d$ -оператор дробного интегродифференцирования [4].

В  $d$ -анализе [5] для вещественных и комплексных порядков интегриродифференцирования  $s$  имеется более одной базовой производной и как следствие многозначная неопределённая производная, которая определяется равенством

$$d^{-s}x : f(x) = 1^{s\{k\}} f^{(s)}(x) + 1^{s\{k\}} C_{-s}(x) \equiv f^{(s\{k\})}(x) + C_{-s}^{\{k\}}(x).$$

Здесь  $1^{s\{k\}} f^{(s)}(x) \equiv f^{(s\{k\})}(x)$  - многозначная базовая производная вещественного (или комплексного) порядка  $s$ , которая является обобщением определённой производной порядка  $s$  на случай всех производных порядка  $s$ , которые получаются при дифференцировании функции  $f(x)$   $d$ -оператором порядка  $s$ , или  $d^{-s}x$ ;  $1^{-s\{k\}} C_{-s}(x) \equiv C_{-s}^{\{k\}}(x)$  - многозначный полином дифференцирования вещественного (или комплексного) порядка  $s$ ; индекс  $k$  в зависимости от порядка интегрирования  $s$ , пробегает конечное множество значений для случаев, когда  $s$  число рациональное и бесконечное счётное множество значений, если  $s$  иррациональное;  $C_{-s}(x)$  - полином дифференцирования [6], который является аналогом полинома интегрирования для операции дифференцирования в  $d$ -анализе; коэффициенты  $1^{s\{k\}}$  определяется равенством [5]

$$1^{s\{k\}} = \exp(i2\pi sk) = \cos(i2\pi sk) + i \sin(i2\pi sk).$$

Для производной в дробном анализе были введены определённые производные для главных производных, когда  $k=0$  [7].

Для многозначной определённой производной можно ввести многозначную определённую производную.

**Теорема.** Если функция  $f(x)$  в области значений переменной  $x$ , ( $a \leq x \leq b$ ) имеет неопределённую многозначную производную порядка  $s$ ,  $f^{(s\{k\})}(x) + C_{-s}^{\{k\}}(x)$ , которая для каждого значения  $k$  будет конечна и кусочно-непрерывна на отрезке  $[a, b]$ , то на данном отрезке имеется многозначная определённая производная порядка  $s$  функции  $f(x)$ , которая вычисляется с помощью формулы

$$\left( \frac{d^s}{dx^s} f(x) \right) \Big|_a^b \equiv d^s x \Big|_a^b : f(x) = (f^{(s\{k\})}(x) + C_{-s}^{\{k\}}(x)) \Big|_a^b =$$

$$= f^{(s\{k\})}(b) - f^{(s\{k\})}(a) + C_{-s}^{\{k\}}(b) - C_{-s}^{\{k\}}(a). \quad (*)$$

Появляющуюся здесь константу

$$C_{-s}^{\{k\}}(b) - C_{-s}^{\{k\}}(a) \equiv C_{-s}^{\{k\}}(a; b) = C_{-s}^{\{k\}}(x) \Big|_a^b$$

будем называть многозначной неопределённой константой дифференцирования порядка  $s$  многозначной определённой производной порядка  $s$  для нижнего предела  $a$  и верхнего предела  $b$ .

Появление полиномов интегрирования в  $d$ -анализе и, как следствие, появление многозначных неопределённых констант дифференцирования является его особенностью, которая отсутствует в классическом анализе.

Формула (\*) является аналогом многозначной формулы интегрирования Ньютона – Лейбница [8] и является обобщением формулы для определённой производной [7].

В дробном анализе для нулевого порядка  $s=0$  и для целочисленных порядков, когда  $s=1, 2, 3, \dots$  константа  $C_n \Big|_a^b$  всегда будет равна нулю, ввиду того, что полиномы дифференцирования для данных порядков равны нулю  $C_{-n} = 0$ , тогда

$$C_{-n} \Big|_a^b = C_{-n}(a; b) = C_{-n}(b) - C_{-n}(a) = 0.$$

В частности, в классическом анализе, когда порядок  $s=1$ , константа  $C_1 \Big|_a^b$  тоже всегда будет равна нулю

$$C_{-1} \Big|_a^b = C_{-1}(a; b) = C_{-1}(b) - C_{-1}(a) = 0.$$

Данное следствие находится в полном согласии с принципом соответствия [9], который требует переход элементарных функций уравнений и их решений для любого вещественного порядка  $s$  в элементарные функции уравнения и решения, имеющиеся в классическом анализе, когда порядок интегриродифференцирования  $s=1$ . Обязательность соблюдения принципа соответствия является одним из главных требований предъявляемых к  $d$ -анализу.

Другой особенностью нулевого порядка и целочисленных порядков является однозначность производных, ввиду того, что все коэффициенты равны единице,  $1^{n(k)} = 1^n = 1$  ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ), тогда будет справедлива формула для *определённой производной*, которая будет однозначной, в отличие от общего случая, который даётся формулой (\*). В том случае определённая производная будет записываться

$$\left( \frac{d^n}{dx^n} f(x) \right) \Big|_a^b \equiv d^n x \Big|_a^b : f(x) = f^{(n)}(x) \Big|_a^b = f^{(n)}(b) - f^{(n)}(a); \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

В частном случае классического анализа, когда  $s=1$ , данная формула будет иметь вид

$$\left( \frac{d}{dx} f(x) \right) \Big|_a^b \equiv d^1 x \Big|_a^b : f(x) = f^{(1)}(x) \Big|_a^b = f^{(1)}(b) - f^{(1)}(a).$$

В классическом анализе понятие определённой производной отсутствует, но часто в приложениях используются конструкции, которые можно интерпретировать как определённые производные.

Приложения дробного анализ разных направлений ориентированно, прежде всего, на пространство с дробной размерностью, к которым относятся фракталы [10].

В приложениях, где будут появляться многозначные производные как определённые, так и неопределённые, необходимо решить вопрос о том, какие из многозначных производных являются физическими? В любом случае необходимо ориентироваться на главные значения производных, когда  $k=0$ , которые предполагаются физическими. Вопрос о том, что будут ли физическими другие производные из множества неоднозначных производных, когда  $k \neq 0$ , требует отдельного рассмотрения.

С другой стороны, необходимо решить вопрос о полиномах дифференцирования, которые вносят неоднозначность для каждой производной и которые необходимо снимать. Для этого необходимо полиномы дифференцировать фиксировать каким-либо образом, приравнивая их к константам и, в частности, к нулю.

Литература.

1. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка. - Минск: Наука и техника, 1987. - 687 с. (Samko S.G., Kilbas A.A., Marichev O.I., Fractional Integrals and Derivatives Theory and Applications. - New York: Gordon and Breach. - 1993. - 1006 p.).
2. Kilbas A.A., Srivastava H.S., Trujillo J.J. Theory and applications of fractional differential equations. North-Holland Mathematics Studies. Vol. 204. - Amsterdam – Boston – Heidelberg – London – New York – Oxford – Paris – San-Diego – San-Francisco – Singapore – Sydney – Tokyo: Elsevier, 2006. - 520 p.
3. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение. - М.: Физматлит, 2003. - 272 с.
4. Чуриков В.А. Локальный d-оператор дробного дифференцирования и дробного интегрирования комплексных порядков вещественной переменной // Современное состояние и проблемы естествознания: сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов, г. Юрга, Юргинский технологический институт, 17 – 18 апреля 2014. – Томск: Изд-во томского политехнического университета, – 2014, – с. 283 – 289.
5. Чуриков В.А. Дополнительные главы анализа. Дробное интегрирование и дробное дифференцирование на основе d-оператора: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 118 с.
6. Чуриков В.А. Полиномы дифференцирования в локальном дробном анализе на основе d-оператора // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 2 (Математика и механика. Физика). – С. 32 – 36.
7. Чуриков В.А. Определённые производные комплексных порядков в d-анализе // Математика и математическое моделирование: сборник материалов IX всероссийской молодёжной научно-инновационной школы, г. Саров, 8 – 10 апреля 2015. – Саров: СарФТИ НИЯУ МИФИ, – 2015, – С. 4.
8. Зорич В. А. Математический анализ. Часть I. Изд. 2-е, испр. и доп. - М.: ФАЗИС, 1997. - 658 с.
9. Чуриков В.А. Доказательство принципа соответствия в дробном анализе на основе d-оператора // Математическое моделирование фрактальных процессов, родственные проблемы анализа и информатики: Материалы международной конференции молодых ученых «Математическое моделирование фрактальных процессов, родственные проблемы анализа и информатики», г. Нальчик, 5 - 8 декабря, 2011 г. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, – 2011, – С. 237–239.
10. Mandelbrot B.B. The Fractals Geometry of Nature. – N. Y.: Freeman, 1982. - 468 p.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗБОЙКОВОГО ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА В MATLAB

*М.В. Новосельцева, ассистент, И.А. Массон, студент,  
Томский политехнический университет, г. Томск  
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56  
E-mail: novmv@tpu.ru, iam2@tpu.ru*

В настоящее время мировое сообщество, разработчиков механизмов, переходит на новый уровень проектирования - создание математических моделей. Такие модели позволяют, меняя параметрические характеристики изучать свойства объекта. Такое проектирование обусловлено более детальным изучением объектов при снижении затрат (без создания экспериментального образца).

Для использования ЭВМ при решении прикладных задач, прежде всего прикладная задача должна быть "переведена" на математический язык, т.е. для реального объекта, процесса или системы должна быть построена его *математическая модель*.

Математические модели в количественной форме, с помощью логико-математических конструкций, описывают основные свойства объекта, процесса или системы, его параметры, внутренние и внешние связи.

Для построения математической модели необходимо:

1. тщательно проанализировать реальный объект или процесс;
2. выделить его наиболее существенные черты и свойства;
3. определить переменные, т.е. параметры, значения которых влияют на основные черты и свойства объекта;
4. описать зависимость основных свойств объекта, процесса или системы от значения переменных с помощью логико-математических соотношений (уравнения, равенства, неравенства, логико-математические конструкции);
5. выделить *внутренние связи* объекта, процесса или системы с помощью ограничений, уравнений, равенств, неравенств, логико-математических конструкций;
6. определить *внешние связи* и описать их с помощью ограничений, уравнений, равенств, неравенств, логико-математических конструкций.

Теория математического моделирования обеспечивает выявление закономерностей протекания различных явлений окружающего мира или работы систем и устройств путем их математического описания и моделирования без проведения натурных испытаний. При этом используются положения и законы математики, описывающие моделируемые явления, системы или устройства на некотором уровне их идеализации.

Данная работа посвящена математическому моделированию hydraulic power pulse machine. Составленная математическая модель механизма изучалась при отсутствии деформации (разрушения) нагрузки.

Для анализа в первую очередь изучается конструктивная схема гидроимпульсного силового механизма. Проводится подробный анализ основных компонентов безбойкового гидроимпульсного механизма и динамических уравнений, описывающих эти компоненты, а так же их возможная конструктивная реализация.

Учтены основные требования, предъявляемые к ударным узлам:

- Высокая энергоемкость;
- Создание эффективной формы ударного импульса;
- Максимальное КПД.

Любая система может быть описана математическими уравнениями. Для составления уравнений движения системы примем допущения - постоянные величины в системе:

$W_0$  – объем гидроцилиндра (от активной массы до поршня);

$\Delta a$  – малый объем гидроцилиндра (в не рабочей зоны, за поршнем);

$S_0$  – площадь торца поршня гидроцилиндра;

$m_0$  – активная масса;

$\Delta w$  – характеристика RVD;

$P$  ( $\Delta w_{\text{РВД}}$ ) – давление в RVD зависящее от  $\Delta w$ ;

$P_0$  – начальное давление в системе;

$x_3 = 0$  – координата перемещения инструмента (внедрения);

$C_0$  – жесткость поджатия активной массы.

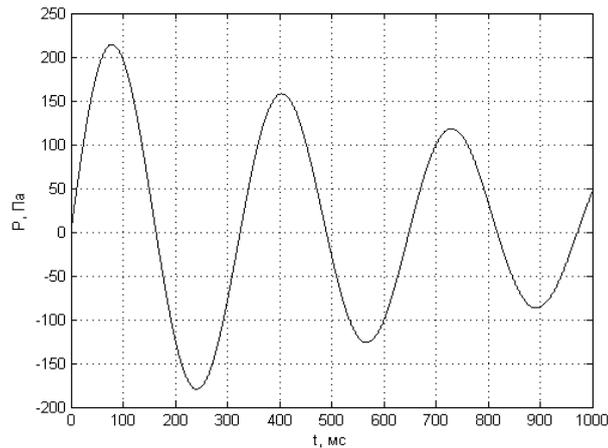
Для вывода уравнений, описывающих данную систему, полагаем, что между двумя следующими друг за другом силовыми импульсами, гидроцилиндр неподвижен. Вводим следующие обоб-

щенные координаты:  $x_2$  – координата перемещения корпуса гидроцилиндра;  $x_1$  – координата перемещения плунжера.

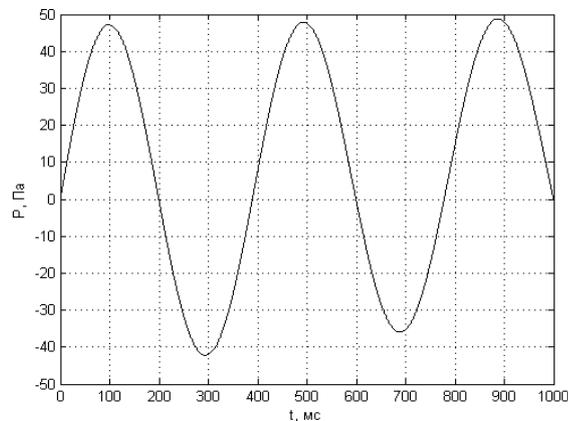
$$\begin{cases} m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k_f \frac{dx_2}{dt} + c x_2 = F_p - p Sg, \\ J_p \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M_p - \chi \frac{d\varphi}{dt} - p Sp \cos \varphi r, \\ Sg \frac{dx_2}{dt} + Sp r \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} = \frac{V_{RVD}}{E_p} \frac{dp}{dt}, \end{cases}$$

где  $m$  – масса, прикрепленная к корпусу гидроцилиндра;  $k_f$  – коэффициент трения между поршнем и гидроцилиндром;  $c$  – жесткость пружины;  $p$  – давление в гидроцилиндре;  $F_p$  – постоянное усилие поджима;  $Sg$  – площадь поршня гидроцилиндра;  $J_p$  – приведенный момент инерции вращающихся деталей ротора,  $M_p$  – приводной момент двигателя;  $\chi$  – коэффициент демпфирования;  $Sp$  – площадь плунжера,  $r$  – радиус кривошипа;  $V_{RVD}$  – объем рукавов высокого давления,  $E_p$  – приведенный модуль упругости, учитывающий сжимаемость жидкости и деформацию рукавов.

Решение системы уравнений было получено в программе MatLab. Полученные решения были представлены в виде графиков зависимости давления в полости гидроцилиндра по времени.



a)  $m=50 \text{ kg}$



b)  $m=300 \text{ kg}$

Рис. 1. График зависимости давления в полости гидроцилиндра от времени при изменении значения инерционной массы  $m$

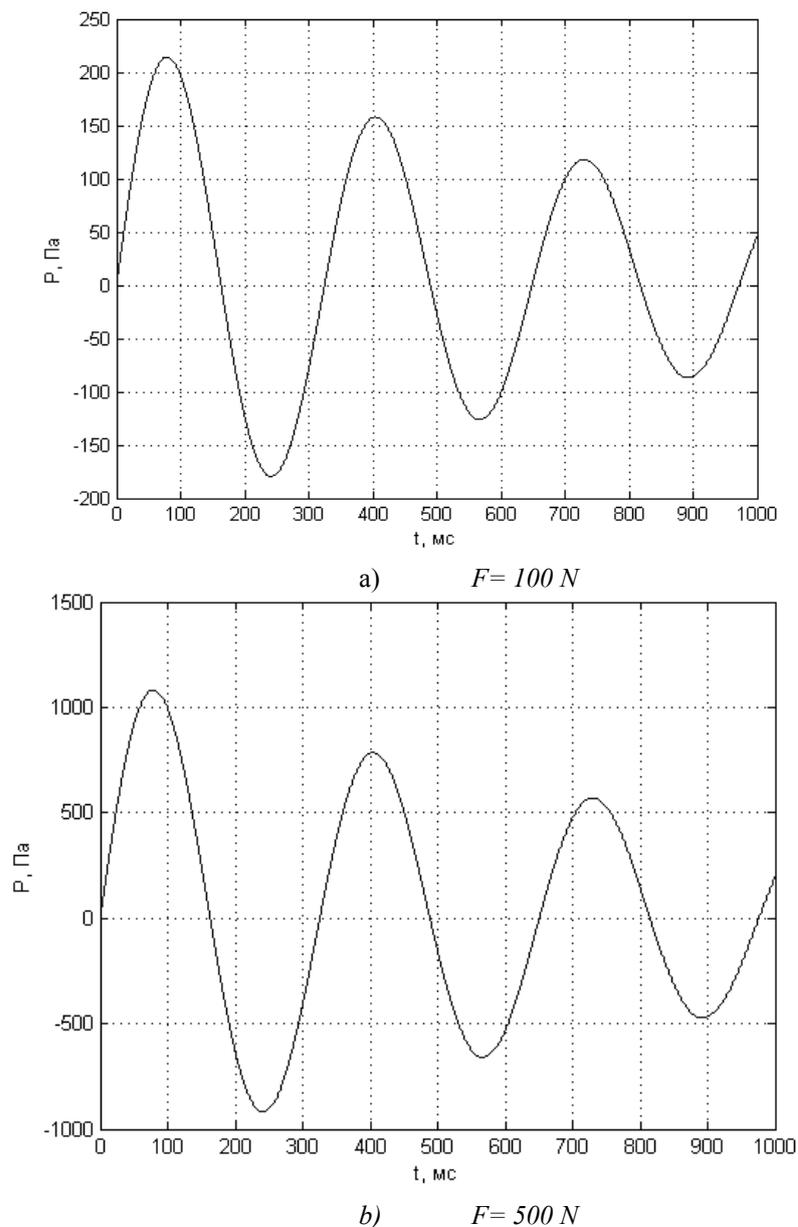


Рис. 2. График зависимости давления в полости гидроцилиндра от времени при изменении силы поджатия  $F$

Анализ моделирования импульса при изменении каждого конструктивного параметра в отдельности выявил влияние на период и амплитуду (при возрастании параметра) (Таблица 1).

Таблица 1

Параметры	Амплитуда -A	Период -T
$C_v$	уменьшается	неизменен
$c$	уменьшается	уменьшается
$S_{гц}$	уменьшается	неизменен
$S_{пл}$	неизменен	неизменен
$F_{подж}$	увеличивается	неизменен
$m$	уменьшается	увеличивается

Где  $C_v$  – объёмная упругость РВД;  $c$  – жесткость пружины;  $S_{гц}$  – площадь поршня гидроцилиндра;  $S_{пл}$  – площадь поршня плунжера;  $m$  – инерционная масса;  $F_{подж}$  – сила поджатия.

Полученные данные дают возможность, изменяя несколько параметров машины, получать импульсы с высоким значением амплитуды и периода.

**Заключение**

Моделирование работы машины с взаимным изменением параметров, показало возможность регулировать характеристиками формирующегося импульса в заданных пределах.

При увеличении силы поджатия происходит увеличение амплитуды, что показывает важность данного параметра при проектировании БГИМ.

Конструктивный параметр как инерционная масса- в модели задается как отдельный объект, и при увеличении происходит увеличение периода импульса. При проектировании стоит учесть массу всего, что будет жестко связано с инерционной массой.

**Литература.**

1. M.B. Novoseltseva, E. N. Pashkov, Prospects for Further Rock Cutting Mechanisms Development, Prospects for Further Rock Cutting Mechanisms Development. 756 (2015) 47-52.
2. E. N. Pashkov, G. R. Ziyakaev, M. V. Tsygankova, Differential equations of processes for the hydropuls power mechanism of drill machines, Applied Mechanics and Materials. 379 (2013) 91-94.
3. M. V Novoseltseva, Investigation of the Influence of Hydroimpulsive Mechanism Design Parameters on the Formed Impulse, Advanced Materials Research. 1040 (2014) 682-685.
4. J. D. Yang, Y. Wang, "Research of Selecting Diamond Quality in Diamond Bit", Applied Mechanics and Materials, 52 (2011) 1930-1935.
5. X. J. Wang, X. X. Zhao, "Research on the Dam Foundation Stability and Reinforcement Measures of the 12th Sluice Section of Xiangjiaba Hydropower Station", Applied Mechanics and Materials, 580 (2014) 2096-2102.
6. X. Wei, C. Y. Wang, H. L. Yuan, Z.H. Xie, "Study of Fracture Mechanism of Rock Cutting", Key Engineering Materials, 250 (2003) 200-208.

## **РАЗВИТИЕ ЛИЧНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫМ И ТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ**

*И.Ю. Соколова, д. пед. н., профессор,*

*ФГБОУ ВПО Томский государственный педагогический университет,*

*г. Томск., ул. Киевская, 60*

В статье представлены компоненты личностного потенциала человека и психолого-педагогические условия его актуализации: активная позиция личности обучающихся; эффективность процесса обучения, обеспечиваемая педагогом; создание творческой образовательной среды в предметных областях знаний (физика, химия, математика, биология и др.); применение специально разработанных дидактических, программно-методических средств, разнообразных форм, методов, информационных технологий обучения. Их реализация обеспечивает развитие личности, сохранения ее здоровья и качество обучения, качество подготовки специалистов, бакалавров, магистров в профессиональном образовании, что теоретически обосновано и подтверждено экспериментально исследованиями автора и его аспирантов.

**Ключевые слова:** личностный потенциал, психолого-педагогические условия, развитие личности, сохранение ее здоровья, качество обучения, качество подготовки специалистов

**Введение.** Подготовки высококвалифицированных, конкурентоспособных, физически и нравственно здоровых, способных к саморазвитию специалистов, бакалавров, магистров требует создания и реализации в вузе психолого-педагогических условий для развития их личностного потенциала и эффективной подготовки к профессиональной деятельности в процессе изучения общенаучных, общепрофилирующих и специальных дисциплин. Среди этих дисциплин особое значение имеет физика, т. к., например, основные физические законы сохранения массы, энергии и количества движения (импульса) – являются теоретическим основанием для вывода уравнений, отражающих частное проявление этих законов в естественнонаучных и технических дисциплинах (гидродинамике, термодинамике и др.).

Сказанное выше позволило нам с позиций системного психолого-педагогического подхода поставить цель: установить психолого-педагогические условия, реализация которых в образовательном процессе может обеспечить развитие личности (ее личностного потенциала), сохранение здоровья и качество обучения, качества подготовки специалистов в процессе преподавания разных дисциплин. Но, прежде выясним, что такое личностный потенциал, его компонентный состав, основания и усло-

вия развития. Принимая во внимание мнение психофизиологов о том, что природными предпосылкам (задаткам) общих способностей, на основе которых развиваются все другие способности, относятся общие и специально-человеческие свойства нервной системы, а также особенности полушарного взаимодействия [1], приходим к следующему.

Личностный потенциал человека характеризуется различными способностями (познавательными, интеллектуальными творческими, художественными и др.), которые развиваются в процессе активной деятельности.

Анализ научной психолого-педагогической литературы проводимая нами более 20 лет диагностика индивидуально-психологических особенностей школьников, студентов [2,3] позволили выделить наиболее значимые компоненты личностного потенциала (ЛП): интеллектуальный, творческий, гносеологический, саморегуляции, самоуправления, саморазвития, самообразования, самореализации, самоактуализации [4]. По мнению психолога М.С. Кагана компонентами личностного потенциала являются – гносеологический (познавательный), аксиологический, творческий, коммуникативный, художественный [5].

Как же развивать личностный потенциал учащихся?

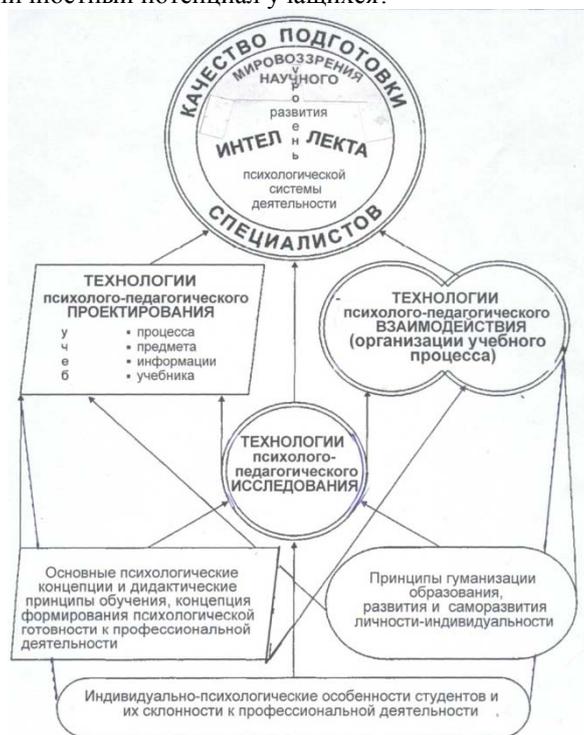


Рис. 1

Согласно концепции (рис. 1), созданной нами с позиций системного психолого-педагогического подхода:

- качество обучения выпускников школ, качество подготовки специалистов, бакалавров, магистров в системах общего и профессионального образования оценивается по развитию их научного мировоззрения, интеллекта, интеллектуальных способностей и психологической готовности выпускников школ к деятельности в последующей образовательной системе или в профессиональной сфере [5,6], а качество подготовки специалистов, бакалавров, магистров в вузах и сузах по психо-логической готовности к профессиональной деятельности на производстве;
- качество выпускников – потребителей образовательных услуг обеспечивается посредством разработки и реализации педагогами в преподавании разных дисциплин дидактического, программно-методического обеспечения и 3-х групп психолого-педагогических технологий обучения–исследования, проектирования и организации учебного процесса [6, 7, С. 23–29].

Реализация в образовательном процессе посредством этих технологий предложенный нами принципов системного психолого-педагогического подхода [6] – гуманизации образования, развития, саморазвития и здоровьесбережения личности, основных психологических концепций, дидактиче-

ских принципов обучения, концепции формирования психологической системы деятельности и учет индивидуально-психологических особенностей студентов, их склонностей к профессиональной деятельности может обеспечить качество обучения, качество подготовки специалистов в вузе, их интеллектуальное, профессиональное развитие, сохранение здоровья при активной учебно-познавательной деятельности, ее эффективности, обеспечиваемой педагогом. Эти принципы согласуются с принципами личностно-развивающего профессионального образования Э.Ф. Зеера [8], что представлено в таблице 1.

Педагогический опыт автора и его аспирантов свидетельствуют о том, что реализация этих принципов в системах общего и профессионального образования способствует актуализации личностного потенциала, развитию интеллектуальных, профессиональных, творческих способностей обучающихся. Не менее важной при этом является проблема сохранения здоровья школьников, студентов в процессе обучения, жизнедеятельности в целом. Этому, по нашему мнению, может способствовать природосообразное образование, учитывающее возрастные психофизиологические особенности и сензитивные периоды развития личности, одновременно развитие функций правого и левого полушарий головного мозга обучающихся, учитывающее особенности их когнитивных стилей – индивидуальных стилей познавательной деятельности и культуросообразное образование [9], которое обеспечивает развитие сознания, мировоззрения, творческого потенциала личности и реализует в образовательном процессе предложенные нами принципы здоровьесбережения – следование законам развития природы, мироздания; гармонии с окружающей средой; гармонии телесной, душевной и духовной природы человека; поисковой активности; аксеологической (ценностные ориентации), самореализации, самоидентификации – быть самим собой не взирая на обстоятельства (самодостаточности) [10].

Кроме того, с позиций системного психолого-педагогического подхода установлено, что активизации и эффективности познавательной деятельности школьников, студентов [7, С. 124] способствует:

- изменение функций участников образовательного процесса, когда педагог не транслятор знаний, а направляющий познавательной деятельности студентов, а они не пассивные слушатели, а активные преобразователи учебной и внешней информации;
- наличие мотивации познавательной деятельности, посредством того, что эта деятельность осуществляется в соответствии со склонностями студентов к определенной предметной или профессиональной сфере деятельности;
- обобщение педагогом учебной информации, ее структурирование и систематизация, представление крупными блоками в виде схем: информационных, структурно-логических ориентировочной основы действий, классификационных и по дедуктивному принципу;
- применение проблемных, проектных, активных и интерактивных методов обучения, информационных и ТРИЗ-технологий, обеспечивающих активную самостоятельную и совместную познавательную деятельность студентов в малых группах и группах-диадах.

Как же и за счет чего в процессе обучения можно обеспечить эти условия?

Изменение функций педагога и студентов возможно, если педагог разрабатывает и применяет такие формы, методы технологии и дидактические, программно-методические средства обучения, которые обеспечивают активную самостоятельную познавательную деятельность студентов исследовательского, проектного, творческого характера.

Автором на основании теоретического анализа установлено, что обобщение учебной информации, ее систематизация, представление в основном по дедуктивному принципу (от общего к частному) и крупными блоками в виде информационных, структурно-логических схем – СЛС способствует активизации психических познавательных процессов: восприятия, внимания, памяти, мышления, воображения и познавательной деятельности в целом [6]. Кроме того, нами выявлено влияние обобщения, систематизации информации и представление по дедуктивному принципу на ее усвоение обладателями разных психофизиологических особенностей (свойств нервной системы, функциональной симметрии-асимметрии полушарий головного мозга), т.к. соответствует:

- лучшему запечатлению (запоминанию) информации личностями с сильной и инертной нервной системой, т.е. обладателями всех темпераментов;
- особенностям целостного (одномоментного) восприятия информации обладателями художественного и смешенного типов и личностям с синтетическим стилем мышления;
- лучшему запоминанию информации, представленной в логической последовательности, обладателями подвижной (холерики, сангвиники) и инактивированной нервной системы, личностями с аналитическим стилем мышления (холерики, меланхолики);

- мыслителям и аналитикам помогает увидеть целое по его элементам, а художникам и синтетикам помогает анализировать детали, элементы блока учебной и иной информации,

Следует отметить также, что представление учебной информации крупными блоками в виде СЛС или ИЛС [7] способствует:

- 1) улучшению характеристик и развитию у обучающихся психических познавательных процессов: восприятия, внимания, памяти, мышления, воображения, речи;
- 2) возможности установления школьниками, студентами связей и отношений между понятиями, представлениями, разными темами и разделами изучаемой дисциплины;
- 3) осуществлению обучающимися различных мыслительных операций и приемов интеллектуальной деятельности, т.е. развитию мышления [7].

Таким образом, крупноблочное представление учебной информации способствует активизации познавательной деятельности обладателей различных типов нервной системы и функциональной симметрии – асимметрии полушарий головного мозга. Поэтому в учебные пособия, учебники, в т. ч. электронные, желательно наряду с представлением информации в концептуальной (знаковой) форме, включать информационные, структурно-логические схемы, отражающие содержание отдельных тем, разделов учебной дисциплины, что и способствует эффективному формированию обобщенного образа восприятия по темам изучаемой дисциплины, что в свою очередь, обеспечивает ее глубокое осмысление, освоение и формирование системного знания.

Подчеркнем, что эффективность познавательной деятельности студентов зависит от уровня развития их интеллектуальных способностей, в т. ч. пространственного мышления.

Анализ особенностей восприятия и переработки информации, соответствующих каждому из полюсов разных когнитивных стилей, позволил сделать выводы о том, что:

- 1) представление учебной информации должно соответствовать доминирующему полюсу когнитивного стиля, так, рефлексивным необходимо представлять информацию зрительно, а импульсивным на слух и зрительно, а синтетикам – в обобщенной форме и по дедуктивному принципу – от общего к частному, а аналитикам – от частного к общему;

- 2) для эффективной переработки учебной информации студентам необходимо выполнять задания – задачи, которые соответствовали бы как доминирующему полюсу когнитивного стиля, так и противоположному. Так, аналитикам следует решать задачи не только на анализ, но и на синтез, а синтетикам – на обобщение информации и, ее анализ.

Разработанная нами концепция и анализ результатов диагностики потенциальных возможностей, личностных и интеллектуальных особенностей школьников и студентов, их склонностей к определенной предметной, профессиональной деятельности позволили нам с позиций системного психолого-педагогического подхода выявить психолого-педагогические условия развития личности и сохранения ее здоровья в образовательном процессе, обеспечения его качества в общем и профессиональном образовании. К ним относятся:

- активная позиция личности учащегося, самопознание, способствующее самовоспитанию, саморазвитию и самореализации, самоактуализации;

- обеспечиваемая педагогом эффективность образовательного процесса, ориентация на учет возрастных особенностей и сензитивных периодов развития психофизиологических функций учащихся, одновременное развитие в учебном процессе функций правого и левого полушарий головного мозга и индивидуальных стилей познавательной деятельности;

- создание творческой образовательной среды, где личность активна и ей предоставляется свобода действий и деятельности по освоению внутренней и внешней информации в предметных областях знаний, образовательной системе, что способствует развитию интеллектуальных способностей личности, ее творческого потенциала;

- организация образовательного процесса в соответствии с выявленными и обоснованными нами принципами здоровьесбережения;

- применение специально-разработанных дидактических, программно-методических средств обучения и информационных технологий, учебных пособий, учебников, в т. ч. электронных, обеспечивающих развитие личности и сохранение ее здоровья.

Принимая во внимание, сказанное выше подчеркнем значение информационных технологий, учебно-методических (УМК), учебно-диагностических комплексов, в том числе компьютерных, для активизации и эффективности образовательного процесса, создания в системах общего и профессионального образования творческой образовательной среды. При этом студентам предоставляется воз-

можность активной и эффективной (с меньшими затратами их времени и энергии), в большей степени самостоятельной познавательной деятельности по освоению соответствующей области знаний. Примерами являются созданные разными авторами творческие образовательные среды по дисциплинам:

- «Педагогическая психология» – И.Ю. Соколовой [7]
- «Неорганическая химия» – С.Ю. Андреевой [11];
- «Естествознание» – Ю.В. Степанченко [12];
- «Математика» в школе – Л.М. Голубевой [13]; Пустынниковой [14];
- «Математика» в вузе – Т.В. Тарбоковой [15]; Гиль Л.Б. [16];
- «Гидромеханика» (раздел физики «Гидродинамика» – И.Ю. Соколовой [17];
- «Экология» в школе – Н.В. Ульяновой [18].

Творческая образовательная способствует развитию у школьников, студентов различных интеллектуальных, профессиональных, творческих способностей [11,13,14]. Среди них (см. рис. 2) особое значение имеют уровень развития пространственного мышления и доминирование идеалистического и аналитического стилей представления и решения стратегических проблем, тогда как при доминировании прагматического и реалистического стилей возможно решение только тактических, ситуационных проблем.

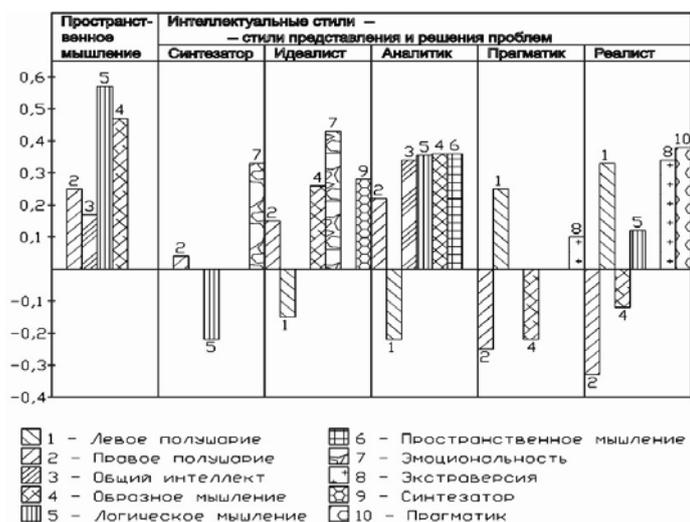


Рис. 2. Взаимосвязи между интеллектуальными способностями и стилями представления и решения проблем по результатам корреляционного анализа

Творческая образовательная среда (по Я. Корчаку – идейная, по В. Ясвину – творческая), по нашему мнению, способствует сохранению здоровья подрастающего поколения в процессе обучения, потому что именно в этой среде возможна реализация таких принципов сохранения здоровья – здоровьесбережения как поисковая активность, аксиологический, самореализации, самоидентификации [10].

Кроме того, творческая образовательная среда может способствовать развитию сознания и научного мировоззрения школьников, студентов, что позволяет им самим в процессе обучения, жизнедеятельности реализовывать другие принципы здоровьесбережения – следование законам развития природы, мироздания, гармонии с окружающей средой, гармонии телесной, душевной и духовной природы человека.

Исследования, педагогический опыт автора [3,5,7,17] и его аспирантов свидетельствуют о том, что реализация представленных выше психолого-педагогических условий в учебном процессе по разным дисциплинам способствуют развитию творческих [11], интеллектуальных [13,14] способностей школьников, их способностей к саморазвитию [18]; активизации и эффективности познавательной деятельности студентов [15]; развитию интеллектуальных [16], профессиональных [12,17] способностей студентов и при этом сохранению их здоровья в системах общего и профессионального образования.

На основании сказанного выше, с целью развития личности и сохранения ее здоровья в образовательном процессе и обеспечения качества подготовки специалистов, бакалавров, магистров в вузах и средних специальных учебных заведениях предлагается следующее.

1. При поступлении в вуз или на 1-м курсе проводить диагностику индивидуально-психологических особенностей абитуриентов и студентов, их:
  - личностных и интеллектуальных особенностей, знание которых необходимо студентам для самопознания, последующего саморазвития и самореализации, а педагогам для организации образовательного процесса, способствующего активизации и эффективности учебно-познавательной деятельности студентов, развитию их интеллектуальных, творческих, профессиональных способностей, компетенций. склонностей к деятельности в сферах: человек–природа, человек–знаковая система, человек–техника, человек–человек, человек – художественный образ;
  - склонностей к разным сферам педагогической деятельности (учитель начальных классов, учитель физики, учитель математики и других естественнонаучных, гуманитарных дисциплин, менеджер образования и т.д.) – для педагогического вуза.
  - склонностей к разным сферам инженерно-технической (конструктор-проектировщик; технолог, исследователь-разработчик, оператор, программист и т. п.) или инженерно-гуманитарной (менеджер, экономист, эколог, педагог, социолог) деятельности,
2. Реализовать в образовательном процессе вуза мониторинг качества образования для оценивания в процессе обучения, как учебных достижений студентов, так и развития их личностного потенциала, профессиональных качеств, способностей, компетентностей, компетенций и сохранения здоровья.
3. Повышать психолого-педагогическую квалификацию педагогов при разных формах обучения, включая стажировку и аспирантуру, что, безусловно, будет способствовать качеству подготовки специалистов, бакалавров, магистров развитию их личностного потенциала, профессиональных качеств, компетенций. компетентностей.

Литература.

1. Голубева Э.А. Способности и Индивидуальность. – М.: Прометей, 1993. – 305 с.
2. Соколова И.Ю. Андриенко А.В. Взаимосвязь индивидуально-психологических особенностей первокурсников с успешностью их обучения в школе и вузе / Сибирский психологический журнал, 1997.– Вып. 5. С. 96–97.
3. Соколова И.Ю., Андриенко А.В. Развитие личности в образовательном процессе школы и вуза. / Вестник интегративной психологии. Ярославль, Москва, 2009. Выпуск 7. С. 165–167.
4. Соколова И.Ю. Потенциальные возможности личности и их развитие в системе непрерывного образования / Журнал «Социальный психолог». Ярославль-Москва, 2008. № 2 (16). С. 93 – 97.
5. Каган М.С. Человеческая деятельность: (Опыт системного анализа).– М.: Политиздат, 1974. – 328 с.
6. Соколова И.Ю. Качество подготовки педагогических кадров, обеспечивающие его технологии / Вестник ТГПУ «Педагогика. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2005. С. 42 – 45.
7. Соколова И.Ю. Педагогическая психология. Учебное пособие со структурно-логическими схемами. (Гриф УМО по ППО) – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 328 с.
8. Зеер Э.Ф. Личностно-развивающее профессиональное образование /Э.Ф. Зеер. Екатеринбург, 2006. 170 с.
9. Соколова И.Ю. Концепция природосообразного и культуросообразного образования, обеспечивающего развитие и сохранение здоровья личности. качество обучения /Журнал «Фундаментальные исследования», 2013. № 10 (8). – С. 1818 – 1824.
10. Соколова И.Ю., Терехина Л.А. Принципы здоровьесбережения как основа формирования культуры здоровья субъектов образовательного процесса вуза // Сб. материалов Всероссийской научно-практич. конф. Томск, 2006. С. 35–38.
11. Андреева С.Ю. Дидактические условия и технология активизации познавательной, творческой деятельности учащихся (на примере курса химии): автореф. дис. канд. пед. наук /С.Ю. Андреева. Томск, 2003. 18 с.
12. Степанченко Ю.В. Подготовка педагогов к формированию у школьников естественнонаучного знания на основе биосфероцентрического подхода: автореф. дис. канд. пед. наук /Ю.В. Степанченко. Томск, 2007. 22 с.

13. Голубева Л.М. Учебно-диагностический комплекс как средство развития интеллектуальных способностей школьников (на материалах алгебры 9 класса) /Автореф. дис. канд.пед. наук. – Томск / ТГПУ, 2001. – 22 с.
14. Пустынникова А.М. Дидактические повторения как средство развития комбинаторных способностей школьников 5-11 классов /Автореф. дис. канд. пед. наук. – Томск / ТГПУ, 2004. –19 с.
15. Тарбокова Т.В. Дидактическая система активизации познавательной самостоятельности студентов как средство эффективности их математической подготовки: автореф. дис. канд. пед. наук / Т.В. Тарбокова. Новокузнецк, 2008. 23 с.
16. Гиль Л.Б. Развитие интеллектуальных умений и способности к саморазвитию студентов технического вуза в процессе математической подготовки: автореф. дис. канд. пед. наук /Л.Б. Гиль. Томск, 2010. 23 с.
17. Соколова И.Ю. Гидромеханика (раздел физики Гидродинамика): Учебно-методич. пособие со структурно-логическими схемами / И.Ю. Соколова. Томск, 1994, 90 с.
18. Ульянова Н.В. Педагогические условия формирования экологической культуры школьников 5 – 11 классов: автореф. дис. канд. наук /Н.В. Ульянова. Томск, 2010. 22 с.

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Babich L.N. 14  
 Grigoriev M.G. 14  
 Абдрасулов К.А. 67  
 Аймагамбетова Р.Ж. 12  
 Александрова Ю.С. 106  
 Алибова А.А. 260  
 Ананьева М.В. 146  
 Антюфеев В.К. 198  
 Апасова Т.Г. 111  
 Аржанникова Н.В. 261  
 Бабакова Е.В. 124  
 Байдышев В.С. 36  
 Балашов А.В. 210  
 Балыков Д.В. 9, 23  
 Березовский А.Н. 238  
 Бигалиева А.З. 12  
 Бин С.В. 156, 159  
 Бомуллоев Д.К. 266  
 Бомуллоев Ш.З. 264  
 Бугерко Л.Н. 187  
 Буракова Е.М. 93, 103  
 Вальтер А.В. 238  
 Верховская А.А. 210  
 Воронова О.А. 166  
 Габитов Э.К. 114  
 Гайдамак М.А. 27  
 Гафнер С.Л. 29  
 Гербель Д.П. 242  
 Гиль Л.Б. 294  
 Гнедаш Д.В. 25  
 Гнедаш Е.В. 212  
 Григор А.С. 116  
 Губанова А.Р. 69, 198  
 Гудим Н.А. 294  
 Гусаров Д.Е. 120  
 Дампилон Б.В. 18  
 Девойно О.Г. 16  
 Деменкова Л.Г. 106, 114, 120,  
 132, 170, 176, 191  
 Джаборов Ш.Р. 176, 269  
 Джамансариев Н.Б. 273  
 Диятов Д.Н. 201  
 Дудихин Д.В. 124, 126  
 Дурыманова В.Ю. 164  
 Елонова В.А. 128, 130, 206  
 Ёрматов А.А. 132, 254  
 Журавлев В.А. 254, 264, 266, 287  
 Журавлев П.Г. 9, 23  
 Журавлева С.В. 135, 137, 138, 141  
 Залунина А.А. 143  
 Замулин И.С. 29  
 Звекон А.А. 48  
 Зыков И.Ю. 48, 146  
 Иващенко Г.Э. 33  
 Игишева А.Л. 74  
 Кайралапова А.Н. 217  
 Калабухова Е.И. 143, 151, 153, 184  
 Калимуллова Н.И. 151  
 Карпов А.В. 296  
 Катюков Н.Л. 275  
 Комзолаков А.В. 36  
 Комилов Х.Н. 269  
 Конюкова Д.А. 156  
 Корниенко Л.А. 44  
 Котова А.Н. 159  
 Кошкарева А.Н. 164  
 Красикова В.А. 221  
 Кривошекова Е.А. 135  
 Кригер В.Г. 9, 23  
 Курманбай А. 67, 71  
 Курманбай А.К. 80, 276  
 Кушнир М.Е. 164  
 Лагунов С.Е. 223, 238  
 Лапковский А.С. 16  
 Ласуков А.А. 223  
 Литвиненко В.В. 78  
 Луцко Н.И. 16  
 Мазамбекова И.Т. 281  
 Макарова В.А. 39  
 Маркидонов А.В. 41  
 Мартемьянова И.В. 162, 166  
 Массон И.А. 302  
 Михеев Д.А. 226  
 Мишкин А.В. 137  
 Мосолков А.Ю. 166  
 Наливкина А.В. 230  
 НгуенСуан Тьук 44  
 Нигматуллина Г.Р. 64, 251  
 Никитин А.П. 48  
 Новосельцева М.В. 302  
 Нозирзода Ш.С. 87, 170, 282  
 Обидина О.В. 53  
 Одинамадов Ф.И. 80, 276  
 Одинцова О.В. 33, 146  
 Оюн Т.С. 138  
 Панин С.В. 44  
 Паталахина О.О. 206  
 Платонов М.А. 126, 181  
 Полещук О.Х. 173  
 Потапов И.С. 210  
 Разихова М.К. 246  
 Рахматуллина Л.Р. 251  
 Садыков А.А. 84, 176, 285  
 Сапожков А.С. 204  
 Сапожков С.Б. 204  
 Саттыбаева К.С. 287  
 Семенов М.Е. 232  
 Семеренко И.А. 236  
 Серикбол А. 181  
 Симонова А.В. 98  
 Соболева Э.Г. 74, 78, 87,  
 Соколова И.Ю. 305  
 Соколова С.В. 273, 276, 290, 292  
 Соловян А.В. 89  
 Сотокина Ю.В. 93, 103  
 Стаин Р.В. 290  
 Старкина О.А. 184  
 Старостенков М.Д. 53  
 Степанов А.П. 93, 103  
 Стриженко К.В. 292  
 Суrowая В.Э. 187  
 Суrowой Э.П. 187  
 Там-Оглы Х.А. 97, 244  
 Танчев М.О. 91  
 Терентьев Е.С. 236  
 Теслева Е.П. 69, 89, 97  
 Толстоулаков А.М. 18  
 Торосян В.Ф. 91, 198, 201  
 Торосян Е.С. 198  
 Файзуллоев А.Э. 84, 285  
 Фатьянова М.Э. 232  
 Филипенко В.В. 191, 294  
 Фрянова К.О. 242  
 Хамидова Ф.А. 282  
 Хорошун Г.В. 244  
 Хорошун Г.В. 97  
 Цыпленков Р.А. 296  
 Чакилева Т.А. 195  
 Чепкасов И.В. 59, 62  
 Черкасова О.В. 141  
 Чуриков В.А. 299  
 Шмидт Ф.В. 91  
 Шпак М.Ю. 173  
 Эттель В.А. 217, 246  
 Ягафарова З.А. 64, 251  
 Яковлева Л.А. 130  
 Яркова А.Г. 173  
 Яшин О.В. 53

Научное издание

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Сборник трудов  
II Всероссийской научно-практической конференции  
молодых ученых, аспирантов и студентов

**Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание  
представленной информации ответственность несут авторы**

Компьютерная верстка и дизайн обложки  
*Е.Г. Фисоченко*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 28.05.2015. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка»  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 36,41. Уч.-изд. л. 32,92  
Заказ 356-15. Тираж 200 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета  
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)