

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

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И
ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

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

**17-18 апреля 2014 года
Юрга**

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

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

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

17-18 апреля 2014 года

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 50(063)
ББК 20л0
С65

Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 357 с.

ISBN 978-5-4387-0407-2

В сборнике представлены материалы по актуальным проблемам физики, новых материалов и химических технологий, а также прикладных задач математики в области инженерных наук, содержатся результаты теоретических исследований и практической реализации научно-исследовательских работ. Материалы сборника представляют интерес для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов по направлению естественные науки.

УДК 50(063)
ББК 20л0

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета

Ответственный редактор
С.Б. Сапожков

Редакционная коллегия
Е.В. Полицинский
Э.Г. Соболева
Т.С. Катрук
Е.Г. Фисоченко

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований*

ISBN 978-5-4387-0407-2

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ШПУЛЬ ДЛЯ НАМОТКИ ПЛЕНКИ <i>Башлакова А.Л.</i>	10
ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ <i>Семенов А.С., Дмитриев С.В.</i>	14
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРЩИН РАЗЛИЧНОЙ АМПЛИТУДЫ В ГРАФЕНОВЫХ НАНОЛЕНТАХ <i>Корзникова Е.А.</i>	17
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА НА НАНОЭЛЕКТРОДАХ <i>Григорьев М.Г., Турушев Н.В.</i>	19
РАСЧЕТ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ НАНОЧАСТИЦЫ ЗОЛОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ РАЗМЕРА <i>Каширина А.А.</i>	22
НАКОПЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЛЬЕФА <i>Алфёрова Е.А., Черняков А.А.</i>	24
СТОЛКНОВЕНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ДИСКРЕТНЫХ БРИЗЕРОВ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВАКАНСИЕЙ В ДВУМЕРНОМ КРИСТАЛЛЕ <i>Кистанов А.А., Мурзаев Р.Т., Хадеева Л.З.</i>	27
РАСЧЕТ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ В УСЛОВИЯХ КОАЛЕСЦЕНЦИИ <i>Кормишина Н.В.</i>	31
АНТИФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СВМПЭ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ MOS_2 <i>Нгуен Суан Тьук, Панин С.В., Корниенко Л.А.</i>	33
КАЛОРИМЕТРИЯ ДИТЕЛЛУРИТОКАДМАТ (II) МАГНИЯ <i>Рустембеков К.Т., Рустембекова Г.К.</i>	35
ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНОЙ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕЖАТОМНОЙ СВЯЗИ В СТЕКЛАХ <i>Дармаев М.В., Бадмаев С.С., Сандитов Д.С.</i>	38
КОЭФФИЦИЕНТ ПУАССОНА И КРИТИЧЕСКОЕ СМЕЩЕНИЕ АТОМОВ В СТЕКЛАХ <i>Сыдыков В.С., Мункуева С.Б., Сандитов Д.С.</i>	41
ПОВЕДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПУАССОНА ЩЕЛОЧНО-ГАЛЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ LiX, NaX ($X = \text{F, Cl, Br, I}$) <i>Соболева Э.Г.</i>	43
ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПЛЕНОК CO, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ CVD ИЗ ДИИМИНАТА КОБАЛЬТА, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ <i>Хайруллин Р.Р., Доровских С.И.</i>	48
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СИНТЕЗИРОВАННЫЕ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НАНОЧАСТИЦЫ Cu <i>Чепкасов И.В., Гафнер Ю.Я.</i>	51

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НА ФОРМУ СОЗДАВАЕМЫХ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ <i>Чуть А.М.</i>	56
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЫ В СПЛАВЕ СТЗ <i>Богданов А.С., Демьянов Б.Ф.</i>	58
ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОФАЗНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ NiTi-12X18H <i>Тажубаева Г.Б., Квеглис Л.И., Молдабаева Г.С.</i>	62
СТРУКТУРНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В НАНОВОЛОКНАХ CuAu I СО СВЕРХСТРУКТУРОЙ L1₀ В ПРОЦЕССЕ ОДНООСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ <i>Яшин О.В., Романовский С.А., Старостенков М.Д.</i>	65
РАЗМЕР ФРАГМЕНТОВ, ДИФРАКЦИОННАЯ КАРТИНА И СТЕПЕНЬ ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 30XГСА ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИИ <i>Скаков М.К., Уазырханова Г.К.</i>	68
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ <i>Теслева Е.П., Танчев М.О., Шмидт Ф.В.</i>	72
СПЛАВЫ С ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ. СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ В В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ TiNi <i>Кыпчаков А.А., Байгонакова Г.А.</i>	74
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА <i>Слобода А.А., Астанин В.В.</i>	76
КОМПОЗИТЫ, АРМИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМ ВОЛОКНОМ, В ТЕХНОЛОГИЯХ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ <i>Бабакова Е.В., Чудинова А.О.</i>	78
ДОЛГОЖДАННОЕ ОТКРЫТИЕ: БОЗОН ХИГГСА <i>Теслева Е.П., Карпионова И.В.</i>	81
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЯХ <i>Игишева А.Л., Литвиненко В.В., Соболева Э.Г.</i>	83
КВАРКОВАЯ МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ МАТЕРИИ <i>Теслева Е.П., Гринченкова Н.С.</i>	86
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДОМ ЛАПЛАСА И ОТРЫВА ПЛАСТИНЫ <i>Теслева Е.П., Карпионова И.В.</i>	88
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ ДОСКИ <i>Теслева Е.П.; Сорокин П.Д., Телицын А.А.</i>	90
ФИЗИКА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ <i>Полицинский Е.В.</i>	92
О СОСТОЯНИИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ <i>Савин О.Б., Гареев А.Ф.</i>	97
ПРОБЛЕМЫ ФИЗИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ <i>Склярва Е.А., Ерофеева Г.В.</i>	99

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНОСЕНСОРОВ В ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ НАНОБИОИНТЕРФЕЙСЫ <i>Турушев Н.В., Григорьев М.Г.</i>	102
РОЛЬ И ФУНКЦИИ ЗАДАЧ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ <i>Полицинский Е.В.</i>	104
КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЧИСТОТЫ ВОЗДУХА ГОРОДА ЮРГА МЕТОДОМ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ <i>Кондратова А.А., Орлова К.Н.</i>	107
ДИАТОНИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ КРУГОВ В РАЗЛИЧНЫХ ПРАВИЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ <i>Степанов А.П., Сотокина Ю.В., Фильмоненко А.Г.</i>	109
НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОСТРОЙКАХ ИЗ РАЗЛИЧНОГО МАТЕРИАЛА <i>Дорошенко И.В., Орлова К.Н.</i>	114
УРОВЕНЬ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В РАЙОНЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРОДА ЮРГА <i>Семенов А.А., Орлова К.Н.</i>	116
ОПТИЧЕСКИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ШКАФ КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Галеева А.А., Ивкин А.Н., Соболева Э.Г.</i>	118
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ В ПРОЦЕССЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ <i>Полицинский Е.В.</i>	121
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО УРОВНЮ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Деманова В.В., Орлова К.Н.</i>	125
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЧИСТОТЫ ВОЗДУХА ГОРОДА ЮРГА МЕТОДОМ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ <i>Бударина Н.А., Орлова К.Н.</i>	127

СЕКЦИЯ 2: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРИДА НАТРИЯ НА СКОРОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ ТИТАНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА <i>Алексенко И.А.</i>	130
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ, ИМПЕРАТИВНЫЕ И ИНЫЕ МЕРЫ В РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРАВ И ОБЯЗАННОСТЕЙ ГРАЖДАН В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ <i>Дорошенко О.В.</i>	133
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСОВ КРЕМНИЯ И ОЛОВА <i>Полещук О.Х., Скурневский Н.О., Полицинский Е.В.</i>	135
ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК КОБАЛЬТА ПРИ T=473 K <i>Журавлева С.В., Сухорукова А.А.</i>	139
ДЕМАНГАНАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ПРИРОДНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ <i>Минаева Л.А., Филатова Е.Г.</i>	141
О ФИЗИКО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ <i>Мойсейчик А.Е.</i>	143

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Скаков М.К., Ерыгина Л.А.</i>	146
ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ И АЗОТИРОВАНИЯ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Х10Т	
<i>Скаков М.К., Курбанбеков Ш.Р.</i>	150
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД	
<i>Медведев Д.В.</i>	153
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОГО СТЕКЛА ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ	
<i>Сапожков С.Б., Макаров С.В.</i>	156
ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД	
<i>Медведев Д.В.</i>	158
МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК ПЕНОПОЛИСТИРОЛА	
<i>Мочалов А.В., Федюк Р.С.</i>	161
ГАЗОБЕТОН С ДОБАВКАМИ ШЛАМА СОЛЬЗАВОДА	
<i>Легостаева Н.В., Нестерова Т.Ю.</i>	163
ОБЕССОЛИВАНИЕ МОНОМЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТА ВПК-402 МЕТОДОМ ЭКСТРАКЦИИ	
<i>Гаеткилова Г.К., Иванов А.Н., Тимурбаев Г.Г.</i>	165
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ ТИТАНА И НИКЕЛЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ НЕДЕФОРМИРУЕМОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ	
<i>Хазалиев Р.Г., Халиков А.Р., Дмитриев С.В.</i>	167
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ НА СВОБОДНУЮ ЭНЕРГИЮ	
<i>Киселев М.Г., Тявловский А.К., Мониц С.Г.</i>	172
ПРИДАНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕПРОФИЛИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТАМ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Киселев М.Г., Богдан П.С.</i>	176
ИНГИБИТОР КИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ	
<i>Тимурбаев Г.Г., Иванов А.Н., Гаеткилова Г.К.</i>	182
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ В НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМАХ $Bi-MoO_3$	
<i>Суровая В.Э., Бугерко Л.Н., Суровой Э.П.</i>	184
МОДЕРНИЗАЦИЯ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА	
<i>Федюк Р.С., Тимохин А.М., Муталибов З.А.</i>	189
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ $Al - ZrW_2O_8$	
<i>Шадрин В.С., Дедова Е.С., Кульков С.Н.</i>	193
ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И ДИНАМИКИ ТМ В СИСТЕМЕ «СНЕГ – ПОЧВА»	
<i>Трофимова А.А., Торосян В.Ф.</i>	195
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА	
<i>Латыпова Л.Ш., Торосян В.Ф.</i>	198

ЗЕЛЁНАЯ ХИМИЯ КАК НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРОЦЕССАМ <i>Чакылдаков Н.Ж., Деменкова Л.Г.</i>	201
ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ <i>Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г.</i>	203
ПРИНЦИПЫ «ЗЕЛЕННОЙ» ХИМИИ КАК ОТРАЖЕНИЕ НОВОГО МЫШЛЕНИЯ <i>Пичугина М.В., Деменкова Л.Г.</i>	205
РАСЧЕТ КРИТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ИНИЦИИРОВАНИЯ ТЭНА С ДОБАВКАМИ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ <i>Зыков И.Ю., Каленский А.В., Ананьева М.В.</i>	208
РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ ЗОЛОТО-ТЭН И СЕРЕБРО-ТЭН <i>Зыков И.Ю., Каленский А.В., Одинцова О.В.</i>	211
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОЧАГА РЕАКЦИИ ВЗРЫВНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ АЗИДА СЕРЕБРА <i>Зыков И.Ю., Каленский А.В., Лукатова С.Г.</i>	215
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ ДОЛОТНОЙ СТАЛИ ПРИ НАГРЕВЕ В ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ПЛАЗМЕ <i>Скаков М.К., Баятанова Л.Б.</i>	219
КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМЫ ТВЕРДОФАЗНЫХ ЦЕПНЫХ РЕАКЦИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ СТАЦИОНАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ <i>Кригер В.Г., Балыков Д.В., Журавлев П.Г.</i>	222
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В СОСТАВЕ ДИСПЕРСНЫХ МАСС «СУГЛИНОК-ШЛАК» НА СВОЙСТВА ОБЖИГОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ <i>Горлов Д.С., Торосян В.Ф.</i>	226
ДЕФОРМАЦИЯ ПРОСЛОЙКИ НИКЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ СОЕДИНЕНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ <i>Хазгалиев Р.Г., Мухаметрахимов М.Х., Лутфуллин Р.Я., Мулюков Р.Р.</i>	230
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНА <i>Талантов Н.Т., Деменкова Л.Г.</i>	234
РЕГЕНЕРАЦИЯ КОМПОЗИТНЫМ НАНОРАЗМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ УРАНА РАСТВОРАМИ КАРБОНАТА НАТРИЯ И ТРИЛОНА-Б <i>Галушкина Д.Н., Васильева М.М., Макаревич Т.Г.</i>	237
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Киреева О.А., Котова Д.О.</i>	239
РАЗЛИЧИЕ МОДИФИКАТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА СТАЛИ <i>Шарафутдинова А.С.</i>	242
КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ЖЕЛЕЗА ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Федосеев С.Н.</i>	244
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗВЕСТНЫХ СОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИХ ЗАГРУЗОК <i>Мартемьянов Д.В., Мухортова Ю.Р., Мухортов Д.Н.</i>	247
СЛАБОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ КАК «ИНГИБИТОР» ПРОЦЕССА РАЗЛОЖЕНИЯ, ИНИЦИИРОВАННОГО В КРИСТАЛЛАХ АТМ УФ-ОБЛУЧЕНИЕМ <i>Маренец В.Г., Туева К.С., Родзевич А.П., Газенаур Е.Г.</i>	251

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ МЕТАЛЛОВ	
<i>Кузнецов М.А., Карцев Д.С.</i>	256
ПОКРЫТИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ	
<i>Крампит Н.Ю., Кожубеков С.К.</i>	260
НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	
<i>Кузнецов М.А., Карцев Д.С.</i>	262
СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЫШЬЯКА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ	
<i>Плотников Е.В., Мартемьянова И.В., Мартемьянов Д.В.</i>	266
ТЕХНОЛОГИЯ АЗОТИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ	
<i>Рахадиллов М.К., Рахадиллов Б.К., Советханова А.А.</i>	268
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	
<i>Черных Е.И., Готовицкий Ю.М., Сапожков С.Б.</i>	271
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ИЗ ЖЕЛЕЗО- И УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ	
<i>Оганян Л.А., Федосеев С.Н.</i>	274
ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЗАВОДОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ «ОКСИКАП»	
<i>Серикбол А., Федосеев С.Н.</i>	277

**СЕКЦИЯ 3: ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МАТЕМАТИКИ
В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ ОБРАЗЦОВ С РЕЛЬЕФОМ НА СВАРИВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ	
<i>Валитова Э.В., Ахунова А.Х., Дмитриев С.В.</i>	280
ЛОКАЛЬНЫЙ D-ОПЕРАТОР ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ДРОБНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПОРЯДКОВ ВЕЩЕСТВЕННОЙ ПЕРЕМЕННОЙ	
<i>Чуриков В.А.</i>	283
ПРОХОЖДЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ СРЕДЫ ИМЕЮЩИЕ СТРУКТУРУ ГОМОГЕННЫХ ФРАКТАЛОВ	
<i>Чуриков В.А.</i>	290
ЗАКОН ОМА И ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ СО СТРУКТУРОЙ ГОМОГЕННЫХ ФРАКТАЛОВ	
<i>Чуриков В.А.</i>	293
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТОХАСТИЧЕСКОГО ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАТРИЦ	
<i>Батенков К.А.</i>	296
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КРОВООБРАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСЦИЛЛОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОНОМЕТРИИ	
<i>Кузьминский Ю.Г., Шилько С.В., Борисенко М.В., Тимофеев Ю.И.</i>	300
СВОЙСТВА ОПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ В МАЛОУГЛОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ НАБЛЮДЕНИЯ	
<i>Браславская О.Б., Гендрина И.Ю.</i>	303

РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ СИЛ <i>Василевич Ю.В., Томило Е.В.</i>	308
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ В СФЕРЕ МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ <i>Галин Р.Р., Мецераков Р.В., Щербачков В.Н.</i>	312
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА <i>Григорьев М.Г., Турушев Н.В.</i>	317
АНАЛИЗ СТОЙКОСТИ КВАНТОВЫХ ПРОТОКОЛОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ <i>Эттель В.А., Кайралапова А.Н.</i>	320
АНАЛИЗ ВЕБ-СЕРВИСОВ С ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИЕЙ <i>Нифталиев С.Е., Эттель В.А.</i>	324
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ <i>Нургали Ж.Н.</i>	326
АНАЛИЗ ПЛАТЕЖНЫХ СИСТЕМ <i>Рыспаева М.К., Эттель В.А.</i>	328
BIG DATA – ТЕХНОЛОГИЯ БУДУЩЕГО <i>Сайлаукызы Ж., Тойшыбек Э.Н.</i>	330
СИГНАТУРНЫЙ АНАЛИЗ <i>Сайлаукызы Ж., Тойшыбек Э.Н.</i>	333
О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ ОБОЛОЧЕЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ, НЕСУЩЕЙ ПРИСОЕДИНЕННОЕ ТВЕРДОЕ ТЕЛО ПРИ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЯХ <i>Серёгин С.В.</i>	336
АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КЛИНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ <i>Тараник М.А., Копаница Г.Д.</i>	337
ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕОРИИ СИСТЕМ <i>Березовская О.Б., Циванюк А.А.</i>	341
ДИНАМИКА ТВОРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СТУДЕНТОВ ФЭИМ ЮТИ ТПУ <i>Зорина Т.Ю., Соколова С.В.</i>	343
К ПРОБЛЕМЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ <i>Князева О.Г.</i>	345
ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ В СОЗДАНИИ УСЛОВИЙ САМОРАЗВИТИЯ СТУДЕНТОВ <i>Гуцина И.Н., Пушкарева Н.С., Гиль Л.Б.</i>	350
ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ <i>Евстафьев С.Н., Соколова С.В.</i>	352
РАЗВИТИЕ ТВОРЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКИ <i>Князева О.Г.</i>	354
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	356

СЕКЦИЯ 1: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ШПУЛЬ ДЛЯ НАМОТКИ ПЛЕНКИ

А.Л. Башлакова, м.н.с.

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого

246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32а, тел. +375(232)-71-40-16

E-mail: depa10@tut.by

Представленная работа посвящена определению и анализу деформационно-прочностных свойств шпуль для намотки пленки по ГОСТ 9550-81 для определения удлинения при сжатии и модуля Юнга с целью сопоставления используемых материалов и выбора оптимального варианта материала.

Для анализа прочности и деформативности указанных материалов были взяты образцы материалов в виде фрагментов шпуль.

Образцы цилиндрических шпуль в виде колец имели следующие размеры:

- 1) $h = 50$ мм, $d = 100$ мм, $l = 15$ мм – картон.
- 2) $h = 40$ мм, $d = 115$ мм, $l = 7$ мм – полиэтилен + 50% древеснонаполненный, производство Италия.
- 3) $h = 40$ мм, $d = 105$ мм, $l = 10$ мм – полиэтилен + 30% мела, цвет зеленый, производство Италия.
- 4) $h = 40$ мм, $d = 110$ мм, $l = 8$ мм – 70% ЛДПЕ + 30% полиамида, цвет бежевый, производство ИП Фрешпак.

- 5) $h = 45$ мм, $d = 96$ мм, $l = 10$ мм – вторичный ПНД, цвет черный, производство Речица, где h – высота цилиндра, d – внешний диаметр, l – толщина стенки.

Вид испытаний: статическое одноосное сжатие по ГОСТ 9550-81 со скоростью 0,5 мм/мин. В настоящей работе механические испытания проводили на машине Instron 5567 с программным обеспечением Merlin.

Исследуемые изделия в виде шпуль в процессе намотки полимерной пленки, бумаги, нитей и т.д. подвергаются боковому обжатию, которое при недостаточной жесткости приводит к возникновению натяга и препятствует снятию шпули с оправки. Так как испытание на боковое смятие (рисунок 1а) не позволяет воспроизвести условия намотки, радиальное перемещение внутренней поверхности шпуль определялось расчетным путем. Результаты конечноэлементного расчета напряженно-деформированного состояния образцов при действии на боковую поверхность равномерно распределенного усилия (обжатия), как показано на рисунке 1б, с использованием программы ANSYS [2] приведены на рисунках 1(б) – 6(б).

В качестве исходных данных о деформационных свойствах материала шпуль использовали диаграммы сжатия $\sigma - \epsilon$, полученные при осевом сжатии кольцевых фрагментов шпуль (для каждого варианта испытывалось по 3 образца), показанные на рисунках 2-6.

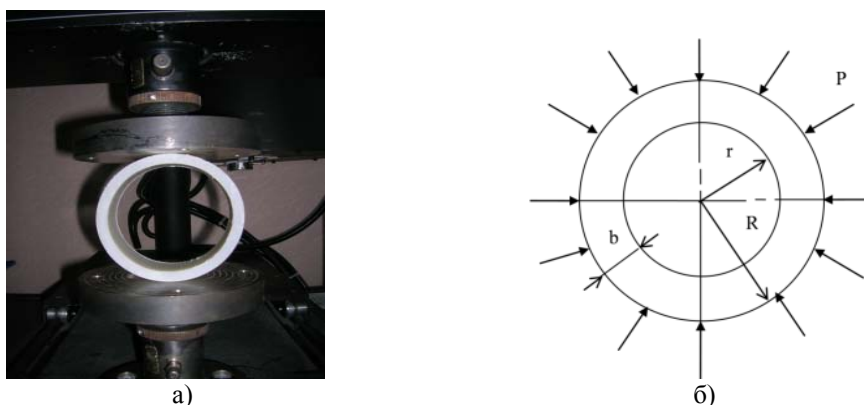


Рис. 1. Испытание на боковое сжатие (а) и расчетная схема для определения параметров обжатия (б)

При существенных различиях диаграмм $\sigma - \epsilon$, полученных при осевом сжатии фрагментов шпуль из 5-ти материалов (рисунок 7), очевидна возможность корректного определения модуля упругости на участках линейно-упругого деформирования.

В предположении линейно-упругого деформирования были вычислены радиальные перемещения (обжатие), а также распределения внутренних (эквивалентных по Мизесу) напряжений.

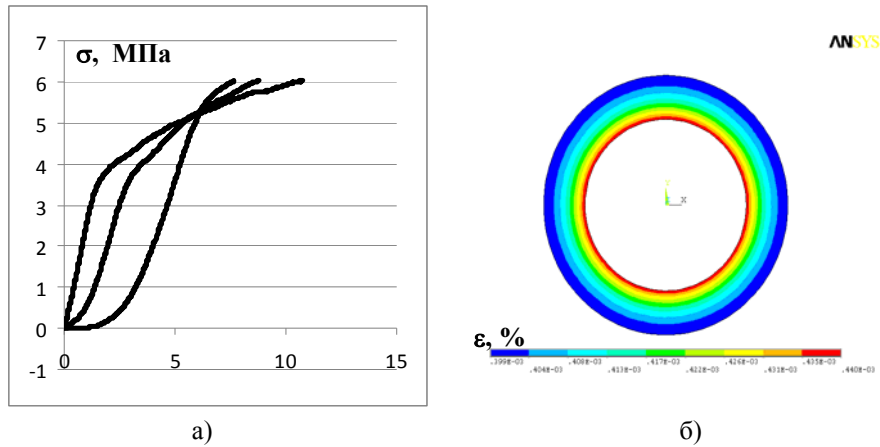


Рис. 2. Зависимости «напряжение (МПа) – деформация (%)» при осевом сжатии для фрагментов картонных шпуль (а) и распределение радиальных перемещений образца U_r при боковом обжатии (б)

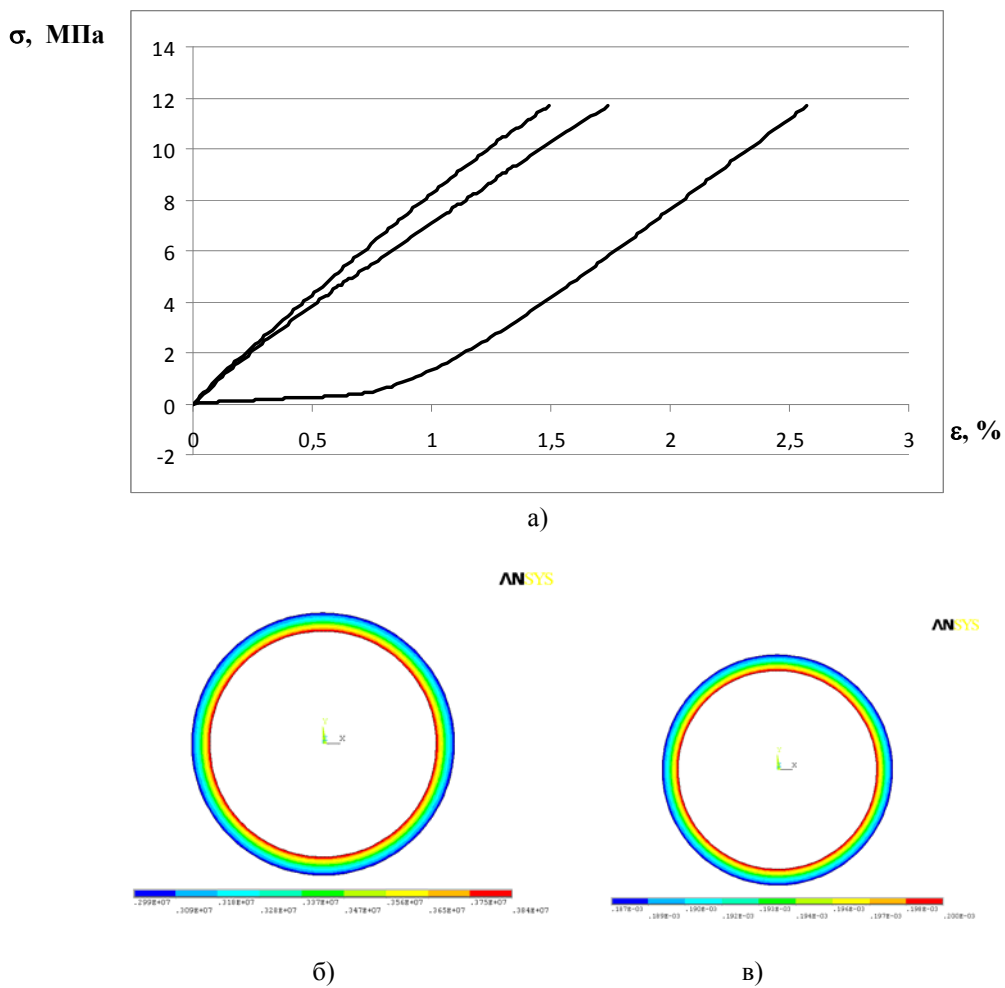


Рис. 3. Зависимости «напряжение (МПа) – деформация (%)» при осевом сжатии для фрагментов шпуль полиэтилен + 50% древеснонаполненный, производство Италия (а), распределения эквивалентных напряжений по Мизесу (б) и радиальных перемещений образца U_r при боковом обжатии (в)

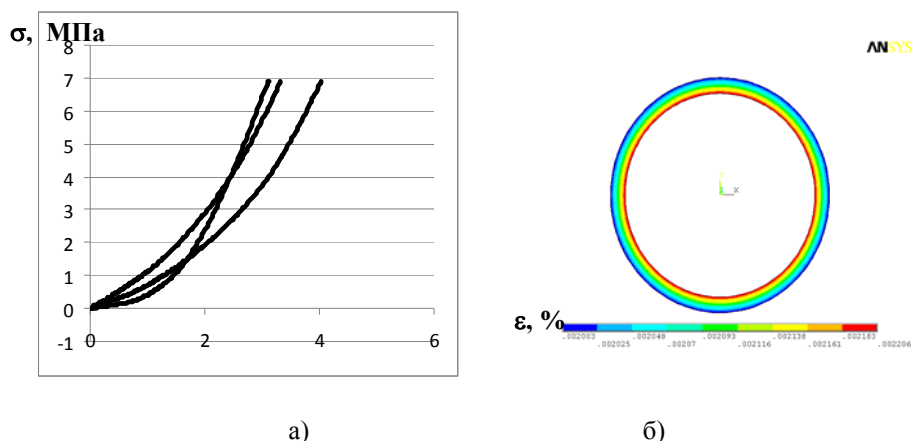


Рис. 4. Зависимости «напряжение (МПа) – деформация (%)» при осевом сжатии для фрагментов шпуль полиэтилен +30% мела, цвет зеленый, производство Италия. (а) и распределение радиальных перемещений образца U_r при боковом обжатии (б)

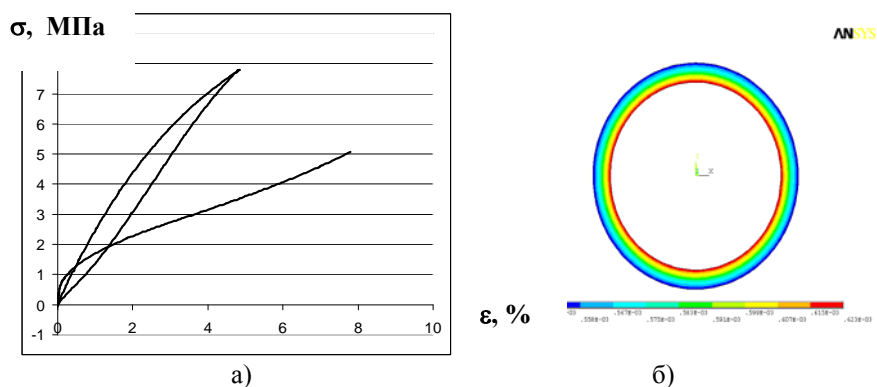


Рис. 5. Зависимости «напряжение (МПа) – деформация (%)» при осевом сжатии для фрагментов шпуль 70% ЛДПЕ +30% полиамида, цвет бежевый, производство Фрешпак (а) и распределение радиальных перемещений образца U_r при боковом обжатии (б)

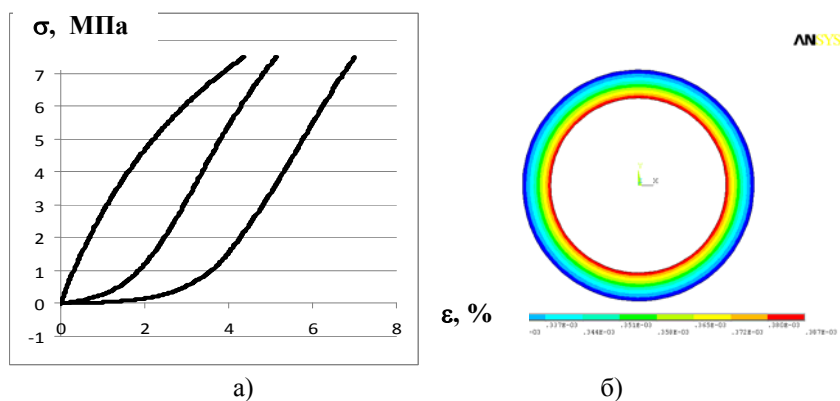


Рис. 6. Зависимости «напряжение (МПа) – деформация (%)» при осевом сжатии для фрагментов шпуль вторичный ПНД, цвет черный, производство Речица (а) и распределение радиальных перемещений образца U_r при боковом обжатии (б)

Так как усилие, требуемое для снятия шпули с вала, должно быть минимальным, наилучшими являются шпули, обладающие 1) наибольшей жесткостью и 2) минимальным коэффициентом трения. Таким образом, в качестве 1-го критерия выбора материала для изготовления шпули, очевидно, следует использовать величину радиальных перемещений ее внутренней поверхности при боковом об-

жати, которую необходимо минимизировать. В свою очередь, радиальное перемещение уменьшается с ростом модуля упругости материала и увеличением толщины стенки шпули. Предпочтительным является повышение модуля упругости материала, т.к. повышение жесткости за счет толщины является неэффективным из-за увеличения материалоемкости изделия. Сопоставление значений радиального перемещения для всех вариантов шпуль дано в таблице.

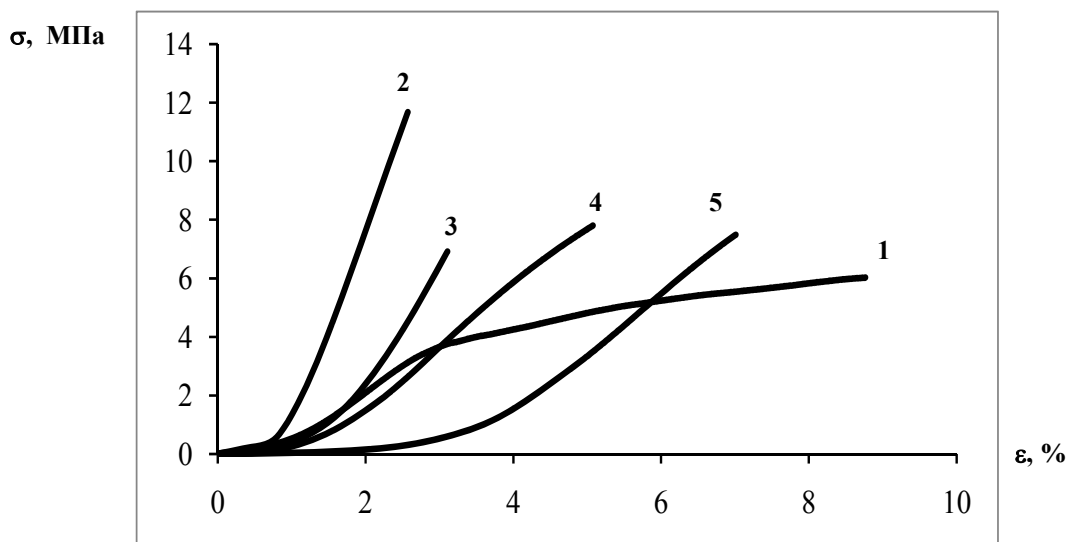


Рис. 7. Зависимости «напряжение (МПа) – деформация (%)» для фрагментов всех представленных шпуль

Таблица

Исходные данные и результаты моделирования обжатия шпуль

№ вар.	1 Картон	2 ПЭ + 50% древес, (Италия)	3 ПЭ +30% мела, зел., (Италия)	4 70% ЛДПЕ +30% ПА, бежевый, (Фрешпак)	5 Втор. ПЭНД, черный (Речица)
E , МПа	142	970	450	223	210
ν	0,3	0,35	0,45	0,45	0,45
b , мм	15	7	10	8	10
u_k , мм	0,44	0,2	2,2	0,62	0,39
$\sigma_{\text{экв}}$, МПа	1,72	3,84	4,05	3,22	2,32

Из таблицы видно, что минимальное радиальное перемещение соответствует варианту материала № 2, а именно, составу: полиэтилен + 50% древеснонаполненный, производство Италия.

Во вторых, уменьшению усилия, необходимого для снятия шпули с вала, способствует снижение коэффициента трения, что может быть достигнуто путем введения антифрикционных добавок и повышения качества (уменьшения шероховатости) внутренней поверхности шпули.

Оптимальным является материал, сочетающий высокий модуль упругости и низкий коэффициент трения. В соответствии с данными критериями лучшим из представленных образцов является вариант № 2: (полиэтилен + 50% древеснонаполненный, производство Италия), обладающий, как видно из таблицы, самым высоким модулем упругости, что обеспечивает минимальное радиальное перемещение. Он также характеризуется невысоким коэффициентом трения.

С другой стороны, материал варианта №5 является наименее пригодным для изготовления шпуль, т.к. имеет низкий модуль упругости, низкое качество поверхности и довольно высокий коэффициент трения.

На основании проведенного анализа можно рекомендовать модификацию состава материала производства Фрешпак (70% ЛДПЕ +30% полиамида, цвет бежевый) и повышение качества поверхности, направленные на снижение коэффициента трения при сохранении достигнутого в этом материале достаточно высокого модуля упругости (порядка 200 МПа).

Литература.

1. Способ получения напряженно-деформированного состояния образца материала для определения его механических характеристик при сжатии: пат. 6417 Респ. Беларусь, МПК7 G 01N 3/08 / С.В. Шилько, Н.Н. Бодрунов / 2004.
2. ANSYS 11.0.

ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

А.С. Семенов, ст. преподаватель, С.В. Дмитриев, д.ф.-м.н., зав. лаб.*

Мирнинский политехнический институт,

*филиал Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова
Республика Саха (Якутия), 678170, г. Мирный, ул. Тихонова, 5/1*

**Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, 450001, Уфа, Россия*

E-mail: dmitriev.sergey.v@gmail.com

Дискретные бризеры – это локализованные колебательные моды большой амплитуды в нелинейных дискретных системах. Существование таких мод в бездефектных нелинейных решетках обсуждается уже на протяжении четверти века. Буквально в последние два-три года методами математического моделирования была показана возможность существования таких мод в чистых ГЦК и ОЦК металлах. В данном кратком обзоре описаны последние достижения в изучении дискретных бризеров и, в частности, дискретных бризеров в чистых металлах. Обсуждается возможная роль дискретных бризеров в формировании физических свойств металлов.

Дискретные бризеры (ДБ), также называемые внутренними локализованными модами, это пространственно локализованные колебательные моды большой амплитуды в нелинейных дискретных решетках. Их существование было доказано строго математически для широкого ряда нелинейных систем с трансляционной симметрией [1]. ДБ успешно наблюдались экспериментально в различных физических системах, таких, как двумерные массивы оптических волокон [2]; Бозе-Эйнштейновские конденсаты [3]; одномерные микромеханические массивы связанных балочных осцилляторов [4]; двумерные нелинейные электрические сети [5]; недодемпфированные джозефсоновские сверхпроводящие контакты [6]; квази-одномерные двухосные антиферромагнетики [7] и другие.

Разнообразие физических систем, поддерживающих существование ДБ, говорит об общности данного физического явления для нелинейных решеток. Кристаллы также являются природными нелинейными решетками и в многочисленных исследованиях, как экспериментальных [8–11], так и численных [12–19], была доказана принципиальная возможность существования ДБ в кристаллических телах. В настоящее время ДБ активно вовлекаются в обсуждение различных физических явлений, наблюдаемых в кристаллах, которые не могут быть объяснены с других позиций [10, 20–24]. Упомянем обнаружение ДБ методами резонансного рамановского рассеяния в сложном соединении обозначаемым для краткости PtCl [8]; методами неупругого рентгеновского рассеяния в альфа-уране [10]; методами неупругого рассеяния нейтронов в щелочно-галлоидном кристалле NaI [11].

Следует отметить, что экспериментальное обнаружение ДБ в кристаллах является весьма сложной задачей поскольку их вклад в колебательные спектры кристаллической решетки маскируется существенно большим вкладом от тепловых колебаний [25]. В этих обстоятельствах невозможно переоценить важность компьютерных методов изучения ДБ в кристаллах. Молекулярная динамика, основанная на эмпирических межатомных потенциалах, использовалась для идентификации ДБ (точнее квазибризеров [26]) в NaI [12], в Si и Ge [13], в Ni и Nb [14], в фуллерите C₆₀ [15]; в углеродных нанотрубках [16], графене [17, 18] и графене [19].

Успех применения метода молекулярной динамики зависит от качества межатомных потенциалов. Например, авторы работы [13] сообщают, что они пытались возбудить ДБ в кремнии с использованием различных межатомных потенциалов и к успеху пришли только с использованием потенциала Терсофа. Причина состоит в том, что параметры потенциалов часто подгоняются по упругим константам и/или фоновым спектрам кристаллов (вычисляемых для линеаризованных уравне-

ний движения атомов) а также по некоторым экспериментально измеряемым энергиям, например, энергии образования вакансии, энергии сублимации (для которых не точный профиль межатомного потенциала, а лишь его интегральные характеристики имеют значение, поскольку изменение потенциальной энергии не зависит от траектории). Однако ДБ, являясь существенно нелинейными колебательными модами, чувствительны к точной форме межатомных потенциалов. Например, было показано, что молекулярно-динамическое моделирование свойств ДБ в графите [19], проведенное с использованием широко известного пакета прикладных программ LAMMPS [28] на основе межатомных потенциалов AIREBO [29], дало адекватное описание частоты ДБ только для малых его амплитуд, в то время как для значительных амплитуд ошибка оказалась огромной. В то же время, потенциал AIREBO с успехом применялся в бесчисленном числе работ по изучению различных свойств углерод-водородных систем, что говорит о том, что изучение ДБ предъявляет весьма высокие требования к качеству межатомных потенциалов.

Колебания атомов в окрестности ДБ приводят к поляризации наружных электронных оболочек, что очень трудно воспроизвести в модели взаимодействующих материальных точек, на которую опирается метод молекулярной динамики. Имеется несколько работ где были сделаны попытки приближенно учесть поляризацию внешних электронных оболочек атомов, индуцированную бризерными колебаниями. В качестве примера, назовем работу [20], где упрощенная модель была применена для описания данного эффекта в структуре перовскита.

Вышесказанное свидетельствует о важности использования первопринципных подходов к изучению ДБ в кристаллах. Насколько нам известно, такая задача не решена до сих пор, по-видимому, из-за сложности применения теории функционала электронной плотности к динамическим задачам. В этом смысле графит [30, 31] представляется весьма подходящим материалом для подобного исследования, поскольку расчеты для двумерного кристаллического материала не являются столь затратными, как для трехмерного.

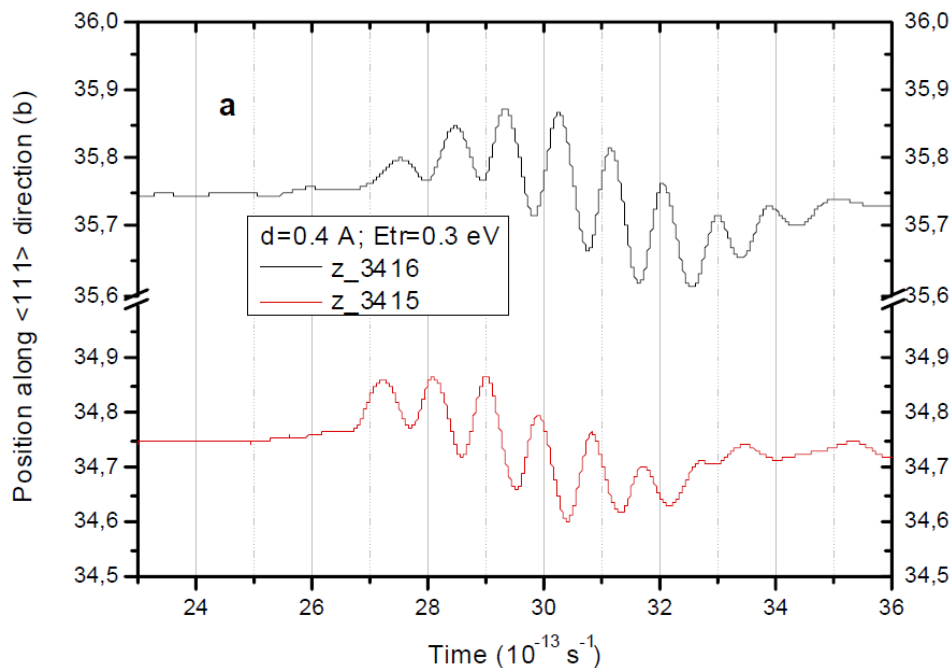


Рис. 1. Колебания двух соседних атомов в направлении плотноупакованного атомного ряда в Fe, по которому движется ДБ. Сдвиг кривых по времени позволяет оценить скорость движения ДБ, которая оказывается близкой к скорости звука в железе

Отметим недавнюю работу [14], в которой была показана возможность существования ДБ в чистых ГЦК металлах Ni и Nb. В работе [32] был предложен анзац для возбуждения движущихся ДБ и успешно апробирован на двумерной модели кристалла с Морзевским взаимодействием. Позже было установлено, что движущиеся ДБ могут существовать и в ОЦК железе. На рис. 1 представлены колебания двух соседних атомов в направлении плотноупакованного атомного ряда в Fe, по которо-

му движется ДБ. Сдвиг кривых по времени позволяет оценить скорость движения ДБ, которая оказывается близкой к скорости звука в железе.

В целом, несмотря на значительные успехи в изучении ДБ в кристаллах, следует признать, что их роль в формировании свойств кристаллов еще не раскрыта.

Литература.

1. A.S. Dolgov, *Sov. Phys. Solid State* 28, 907 (1986); A.J. Sievers, S. Takeno, *Phys. Rev. Lett.* 61, 970 (1988); J.B. Page, *Phys. Rev. B* 41, 7835 (1990); R.S. MacKay, S. Aubry, *Nonlinearity* 7, 1623 (1994); S. Flach, C.R. Willis, *Phys. Rep.* 295, 181 (1998); S. Flach, A.V. Gorbach, *Phys. Rep.* 467, 1 (2008).
2. J.W. Fleischer, M. Segev, N.K. Efremidis, D.N. Christodoulides, *Nature (London)* 422, 147 (2003).
3. A. Trombettoni, A. Smerzi, *Phys. Rev. Lett.* 86, 2353 (2001); B. Eiermann, Th. Anker, M. Albiez, M. Taglieber, P. Treutlein, K.-P. Marzlin, M.K. Oberthaler, *Phys. Rev. Lett.* 92, 230401 (2004).
4. M. Sato, S. Imai, N. Fujita, W. Shi, Y. Takao, Y. Sada, B.E. Hubbard, B. Ilic, A.J. Sievers, *Phys. Rev. E* 87, 012920 (2013); M. Spletzer, A. Raman, A.Q. Wu, X. Xu, R. Reifengerger, *Appl. Phys. Lett.* 88, 254102 (2006); J. Wiersig, S. Flach, K.H. Ahn, *Appl. Phys. Lett.* 93, 222110 (2009).
5. L.Q. English, F. Palmero, P. Candiani, J. Cuevas, R. Carretero-Gonzalez, P.G. Kevrekidis, A.J. Sievers, *Phys. Rev. Lett.* 108, 084101 (2012).
6. E. Trias, J.J. Mazo, T.P. Orlando, *Phys. Rev. Lett.* 84, 741 (2000).
7. U.T. Schwarz, L.Q. English, A.J. Sievers, *Phys. Rev. Lett.* 83, 223 (1999).
8. B.I. Swanson, J.A. Brozik, S.P. Love, G.F. Strouse, A.P. Shreve, A.R. Bishop, W.-Z. Wang, M.I. Salkola, *Phys. Rev. Lett.* 82, 3288 (1999); N.K. Voulgarakis, G. Kalosakas, A.R. Bishop, G.P. Tsironis, *Phys. Rev. B* 64, 020301 (2001); G. Kalosakas, A.R. Bishop, A.P. Shreve, *Phys. Rev. B* 66, 094303 (2002).
9. D.K. Campbell, S. Flach, Y.S. Kivshar, *Phys. Today* 57, 43 (2004).
10. M.E. Manley, A. Alatas, F. Trouw, B.M. Leu, J.W. Lynn, Y. Chen, W.L. Hulst, *Phys. Rev. B* 77, 214305 (2008); M.E. Manley, M. Yethiraj, H. Sinn, H.M. Volz, A. Alatas, J.C. Lashley, W.L. Hulst, G.H. Lander, J.L. Smith, *Phys. Rev. Lett.* 96, 125501 (2006).
11. M.E. Manley, A.J. Sievers, J.W. Lynn, S.A. Kiselev, N.I. Agladze, Y. Chen, A. Llobet, A. Alatas, *Phys. Rev. B* 79, 134304 (2009); M. Kempa, P. Ondrejko, P. Bourges, J. Ollivier, S. Rols, J. Kulda, S. Margueron, J. Hlinka, *J. Phys.: Condens. Matter* 25, 055403 (2013).
12. S.A. Kiselev, A.J. Sievers *Phys. Rev. B* 55, 5755 (1997); L.Z. Khadeeva, S.V. Dmitriev, *Phys. Rev. B* 81, 214306 (2010).
13. N.K. Voulgarakis, G. Hadjisavvas, P.C. Kelires, G.P. Tsironis, *Phys. Rev. B* 69, 113201 (2004).
14. M. Haas, V. Hizhnyakov, A. Shelkan, M. Klopov, A.J. Sievers, *Phys. Rev. B* 84, 144303 (2011).
15. A.V. Savin, Yu.S. Kivshar, *Phys. Rev. B* 85, 125427 (2012).
16. T. Shimada, D. Shirasaki, T. Kitamura, *Phys. Rev. B* 81, 035401 (2010).
17. J.A. Baimova, S.V. Dmitriev, K. Zhou, *Europhys. Lett.* 100, 36005 (2012).
18. L.Z. Khadeeva, S.V. Dmitriev, Yu.S. Kivshar, *JETP Lett.* 94, 539 (2011).
19. B. Liu, J.A. Baimova, S.V. Dmitriev, X. Wang, H. Zhu, K. Zhou, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 46, 305302 (2013).
20. A.R. Bishop, A. Bussmann-Holder, S. Kamba, M. Maglione, *Phys. Rev. B* 81, 064106 (2010); J. Macutkevicius, J. Banyas, A. Bussmann-Holder, A.R. Bishop, *Phys. Rev. B* 83, 184301 (2011).
21. V.I. Dubinko, P.A. Selyshev, J.F.R. Archilla, *Phys. Rev. E* 83, 041124 (2011).
22. M.G. Velarde, *J. Comput. Appl. Math.* 233, 1432 (2010).
23. A. Glensk, B. Grabowski, T. Hickel, and J. Neugebauer, *Phys. Rev. X* 4, 011018 (2014).
24. J.F.R. Archilla, S.M.M. Coelho, F.D. Auret, V.I. Dubinko, V. Hizhnyakov, arXiv:1311.4269 [cond-mat.mtrlsci] (2013).
25. A.J. Sievers, M. Sato, J.B. Page, T. Rössler, *Phys. Rev. B* 88, 104305 (2013).
26. G.M. Chechin, G.S. Dzhelauhova, E.A. Mehonoshina, *Phys. Rev. E* 74, 036608 (2006).
27. L.Z. Khadeeva, S.V. Dmitriev, *Phys. Rev. B* 84, 144304 (2011).
28. S. Plimpton, *J. Comput. Phys.* 117 1 (1995).
29. S.J. Stuart, A.B. Tutein, J.A. Harrison, *J. Chem. Phys.* 112 6472 (2000).
30. M.H.F. Sluiter, Y. Kawazoe, *Phys. Rev. B* 68, 085410 (2003); J.O. Sofo, A.S. Chaudhari, G.D. Barber, *Phys. Rev. B* 75, 153401 (2007).
31. D.C. Elias, R.R. Nair, T.M. Mohiuddin, S.V. Morozov, P. Blake, M.P. Halsall, A.C. Ferrari, D.W. Boukhvalov, M.I. Katsnelson, A.K. Geim, K.S. Novoselov, *Science* 323, 610 (2009).
32. A.A. Кистанов, Р.Т. Мурзаев, С.В. Дмитриев, В.И. Дубинко, В.В. Хижняков, *Письма в ЖЭТФ*, 99(6), 403 (2014).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРЩИН РАЗЛИЧНОЙ АМПЛИТУДЫ В ГРАФЕНОВЫХ НАНОЛЕНТАХ

Е.А. Корзникова, к.ф.-м.н., н.с.

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

450001, г. Уфа, ул. С. Халтурина, 39

E-mail: elena.a.korznikova@gmail.com

Графен – моноатомный слой углерода, известный благодаря своим необычным свойствам, обладает большим потенциалом использования в качестве материала для микроэлектроники, оптики и в других областях науки и техники. Необходимо отметить, что свойства графена существенно зависят от приложенной деформации и топологии его поверхности. Графен обладает рекордно высокой жесткостью при растяжении в плоскости листа, но весьма малой изгибной жесткостью, что приводит к склонности к морщинообразованию при приложении сжимающих напряжений [1-5]. Данное явление характерно для многих материалов в виде мембран, тонких пленок и т.п., где под воздействием краевых ограничений возможно самопроизвольное появление самоподобной иерархии морщин. Примеры могут быть найдены как для макрообъектов, начиная от висящих штор, так и для наноматериалов, в том числе, для листа графена [5].

Одномерные или двумерные морщины могут возникать в графене за счет деформации сдвига, одноосной деформации сжатия, при термическом воздействии (в результате разницы коэффициентов термического расширения тонкого листа графена и подложки) [7], а также при наноиндентировании [8].

Ввиду того, что морщины существенно влияют на свойства графена, их изучению в последние несколько лет посвящено довольно большое количество экспериментальных и теоретических работ. Так, в работах [9-10] были проанализированы геометрические свойства морщин в наноленте графена с заземленными краями, находящимися в условиях однородной плоской деформации. Были установлены зависимости длины волны, амплитуды, и ориентации морщин от компонент однородной деформации и ширины наноленты.

В настоящей работе изучены морщины и ринклоны удваивающие длину волны морщин в упруго деформированных графеновых нанолентах с заземленными краями.

Описание модели

Элементарная ячейка графена прямоугольной формы задавалась векторами трансляции \mathbf{a}_1 и \mathbf{a}_2 и включала четыре атома углерода, каждый из которых имел три степени свободы – компоненты вектора перемещения. Ось X (Y) выбрана вдоль ориентации зигзаг (кресло). Нанолента с закрепленными краями ориентировалась вдоль направления Y. Для краев параллельных оси X использовались граничные условия отвечающие морщинам заданной длины волны. Моделирование проводилось при нулевой температуре.

Для описания межатомных взаимодействий использовался стандартный набор потенциалов метода молекулярной динамики [11], который дает равновесную длину валентной связи $\rho_0 = 1.418 \text{ \AA}$.

Ширину (длину) наноленты удобно определять количеством ячеек периодичности в направлении оси X (Y). В данной работе изучение движения ринклона проводилось для графеновой наноленты с длиной $M=3120$ ячеек и шириной $N=28$ ячеек. Для изучения релаксационной динамики ринклона в уравнения движения атомов вводился вязкий член. Нанолента была упруго деформирована $\epsilon_{xx} = -0.08$, $\epsilon_{yy} = 0.1$. Сжимающая деформация в направлении ширины наноленты обеспечивала появление в ней одноосных морщин, ориентированных вдоль длины наноленты. На краях наноленты параллельных оси X задавались фиксированные перемещения атомов углерода, соответствующие морщинам с длинами волн $\lambda_1 = 63.2678 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 31.6339 \text{ \AA}$, что для данной ширины наноленты соответствует 1 и 2 полным длинам волны. Область перехода (ринклон) задавалась на расстоянии $0,1M$ от края наноленты.

Результаты моделирования

На рис. 1 показана зависимость (а) амплитуды морщин и (б) потенциальной энергии морщин в расчете на атом как функции длины волны морщин для деформации $\epsilon_{xx} = -0,08$, $\epsilon_{yy} = 0.1$. Исследовался диапазон ширины наноленты $N=10-128$ ячеек, что соответствует $\lambda=22.5956 - 289.224 \text{ \AA}$. В пределах ширины наноленты для данного расчета помещался один полный период морщины. Согласно рис. 1, амплитуда морщины A увеличивается линейно с ростом λ во всем исследованном интервале длин волн.

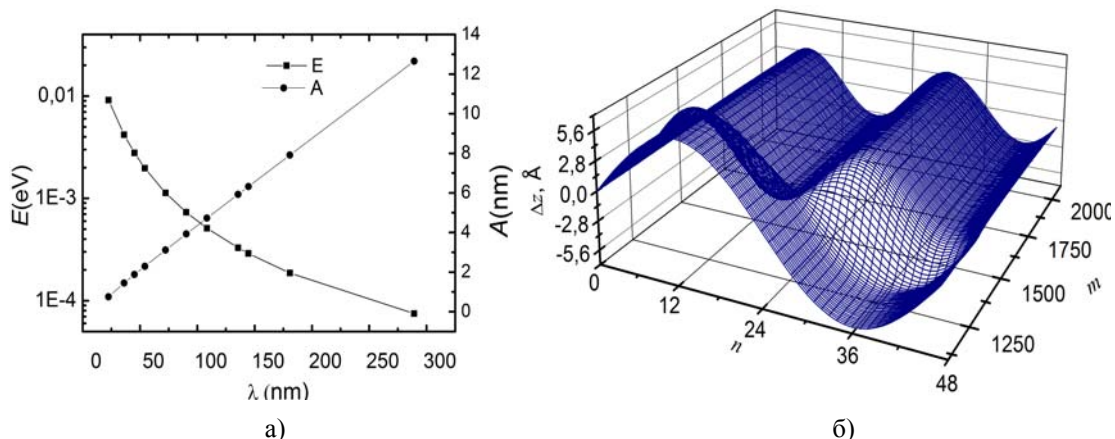


Рис. 1. Зависимость (а) амплитуды морщины и потенциальной энергии от длины волн, (б) общий вид. ринклон в графеновой наноленте зигзаг шириной $N = 28$ и длиной $M = 3120$ при деформации $\varepsilon_{xx} = -0.08$, $\varepsilon_{yy} = 0.1$

Профиль ринклон после релаксации представлен на рис. 2 в виде зависимости прогиба наноленты от номера трансляционной ячейки M, N , то есть, по сути, от координат X, Y .

Для использованных в данной работе значений λ_1 и λ_2 рассчитанная амплитуда в направлении оси Z для вышеописанных волн составила $A_1 = 3.68498 \text{ \AA}$, $A_2 = 1.67694 \text{ \AA}$. В то же время, потенциальная энергия морщины на атом E пропорциональна λ^{-2} . Длина ринклон составила 40 \AA , что составляет примерно 60% от ширины исследуемой наноленты.

Ринклон, показанный на рис. 1, б движется в сторону морщин с меньшей длиной волны, поскольку они имеют более высокую плотность потенциальной энергии, как это следует из рис. 1, а. Скорость движения ринклон зависит от величины коэффициента вязкости в уравнениях движения атомов. Для коэффициента вязкости устанавливалось значение $\gamma = 10^{-3} \text{ нс/м}$, что является достаточно большой величиной для подавления колебательных мод при движении ринклон. При выбранных значениях коэффициента вязкости профиль ринклон в установившемся режиме движения не зависел от коэффициента вязкости.

Выводы

Методом молекулярной динамики проведено изучение наноленты графена размером $M=3120$ на $N=28$ ячеек периодичности (каждая ячейка содержит четыре атома углерода), содержащей морщины с одной либо двумя полными длинами волн в направлении оси OX , и переходную область (ринклон), в пределах которой число волн удваивается. Установлено, что амплитуда морщин A находится в линейной зависимости от длины волны морщины λ , а потенциальная энергия на атом с ростом λ уменьшается по закону λ^{-2} , что обуславливает энергетическую выгодность состояния с большей длиной волны и в приводит к движению ринклон в соответствующую сторону. Движущийся ринклон (в присутствии достаточно большой вязкости) представляет собой волну солитонного типа неизменной формы. Длина рассматриваемого ринклон составила порядка 60% от ширины наноленты. В области ринклон обнаружено локальное повышение плотности энергии по сравнению с уровнями энергии морщин, соединяемых ринклоном, что объясняется значительными упругими искажениями решетки в переходной области.

Автор признателен С.В. Дмитриеву за обсуждение результатов работы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-02-97029.

Литература.

1. A.K. Geim, K.S. Novoselov. Nature Materials **6(3)**, 183 (2007).
2. A.H. Castro Neto, F. Guinea, N.M.R. Peres, K.S. Novoselov, A.K. Geim. Rev. Mod. Phys. **81**, 109 (2009).
3. A.H. Castro Neto, K. Novoselov. Reports on Progress in Physics **74**, 082501 (2011).
4. P.P. Azar, N. Nafari, M.R.R. Tabar. Phys. Rev. B **83**, 165434 (2011).
5. А. Искандаров, Y. Umeno, С. Дмитриев, Письма о материалах. 2011. Т. 1. № 3. С. 143-146.
6. H. Vandeparre, M. Pineirua, F. Brau et al. Phys. Rev. Lett. **106**, 224301 (2011).
7. Y. Meia, S. Kiravittaya, S. Harazim, O. G. Schmidt. Mater. Sci. Eng. R **70**, 209 (2010).
8. Z. Wang, M. Devel. Phys. Rev. B **83**, 125422 (2011).

9. A. J. Gil, S. Adhikari, F. Scarpa, and J. Bonet, J. Phys.: Condens. Matter **22**, 145301 (2010).
10. J.A. Baimova, S.V. Dmitriev, K. Zhou, A.V. Savin. Phys. Rev. B. **82**, 86, 035427 (2012).
11. Ю.А. Баймова, К. Жоу, Письма о материалах. 2012. Т. 2. № 3. С. 139-142.
12. A.V. Savin, Yu.S. Kivshar, B. Hu. Phys. Rev. B. **82**, 195422 (2010).

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА НА НАНОЭЛЕКТРОДАХ

М.Г. Григорьев, аспирант, Н.В. Турушев, аспирант

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. +7(913)-824-83-97

E-mail: Mishatpu@sibmail.com

Сердечно-сосудистые заболевания, также как и онкологические заболевания уверенно держат лидерство среди самых опасных и распространенных болезней XXI века.

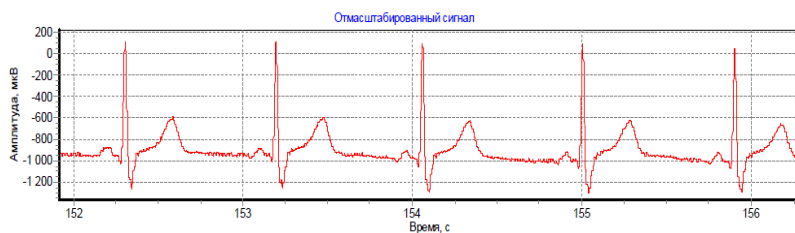
В экономически развитых странах болезни сердца являются одними из самых распространенных заболеваний, среди всех причин смертности населения их доля составляет более 20 % в Европе и более 50% в РФ (ЕОК, 2008; ВОЗ, 2009). Беспокойство вызывает так же то, что возраст больных неуклонно снижается, соответственно количество случаев сердечных заболеваний постоянно увеличивается. В настоящее время весьма часто бывают случаи, когда в больницы и кардиологические центры обращаются люди с инфарктом миокарда возрастом 23-25 лет. Особенно часто заболевания сердца диагностируются у мужчин трудоспособного возраста [1-3].

Сердечно-сосудистое заболевание сердца – является ярким примером патологий, течение и исход которых непосредственно зависит от времени обращения к врачу, своевременно поставленного диагноза и начала правильного лечения. Исходя из выше сказанного, симптомы и проявления подобных заболеваний и способы оказания доврачебной помощи при сердечном приступе, необходимо знать каждому человеку, даже тем, кто весьма далек от медицины.

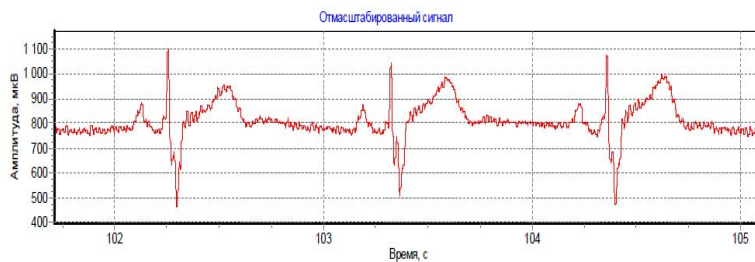
Самым доступным и распространенным методом диагностики сердечно-сосудистой системы является электрокардиография, основанная на принципе измерения биопотенциалов с поверхности тела человека при помощи электрокардиографических электродов, которые широко используются во врачебной практике [1-3]. В клинической практике электрокардиография получила широкое распространение за счет хорошей восприимчивости и высокой информативности получаемых результатов в сочетании с минимальным воздействием на организм человека. Электрокардиография в России получила особенно большое распространение, в настоящее время практически невозможно найти лечебное учреждение, будь то больница или поликлиника, не имеющее у себя на вооружении электрокардиографа.

Исходя из выше сказанного, в лаборатории медицинского приборостроения института неразрушающего контроля ТПУ в течение нескольких лет ведутся работы по повышению разрешения не только отдельных элементов ЭКГ аппаратуры, но и всего комплекса в целом. Применение наноразмерных частиц серебра в конструкции электрокардиографического электрода позволило достичь многократного повышения его метрологических характеристик. В совокупности с разработкой малошумящих регистрирующих приборов удалось достичь повышения разрешения сигнала до сотен нановольт (при общепринятых десятках и сотнях микровольт). В структуре электрокардиографа отсутствуют фильтры (ФВЧ и заграждающий сетевой фильтр 50 Гц).

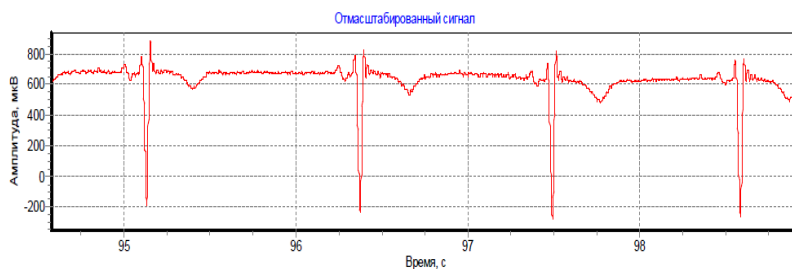
В научно-исследовательском институте кардиологии города Томска были проведены исследования электрокардиографа на нанoeлектродах. Пациенты, имеющие заболевания в сердечно-сосудистой системе, были исследованы с помощью электрокардиографа на нанoeлектродах в трех грудных отведениях по Небу и в трех отведениях от конечностей (I, II, III). Сразу после снятия результатов, регистрировалась электрокардиограмма на стандартном электрокардиографе по тем же отведениям. Исследования проводились на основе Томского Научно-исследовательского института кардиологии. В качестве стандартного электрокардиографа был использован CardioFax GEM (Nihon Kohden). Медицинские исследования были проведены с обеспечением максимального комфорта для пациента: отсутствие отвлекающих и раздражающих факторов (шум, разговоры, посторонние лица), спокойная обстановка, нормальное освещение и температура в специальном медицинском кабинете. Электрокардиограмма снималась с трех отведений от грудной клетки и конечностей, с каждого отведения длительность записи равна трем минутам. В общем, исследования были проведены на восемнадцати пациентах с различными аномалиями сердечно-сосудистой системы.



а) Электрокардиограмма пациента Р6 (Отведение I)



б) Электрокардиограмма пациента Р6 (Отведение II)



в) Электрокардиограмма пациента Р6 (Отведение III)

Рис. 1. Электрокардиограммы пациента Р6, зарегистрированные с помощью электрокардиографа на нанoeлектродах

На рис. 1 представлены данные пациента Р6, снятые с помощью электрокардиографа на нанoeлектродах.

На рис. 2 представлены данные пациента Р6, снятые в тот же день с помощью стандартного электрокардиографа CardioFax GEM (NIHON KONDEN).

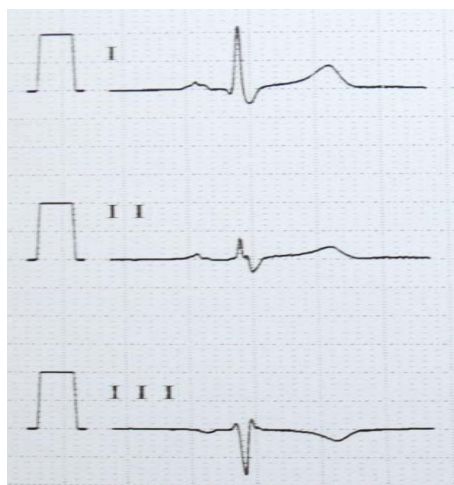


Рис. 2. Электрокардиограммы с трех отведений от конечностей пациента Р6, зарегистрированные на стандартном электрокардиографе с разрешением по времени 25мм/с и по амплитуде 10мм/мВ

На рис. 3 представлены данные пациента с кардиостимулятором P18.

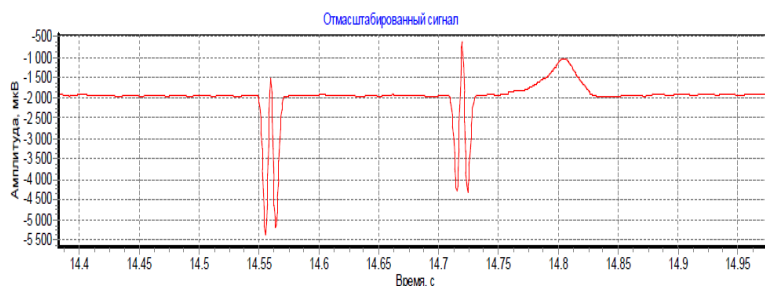


Рис. 3. Электрокардиограммы, зарегистрированные с помощью электрокардиографа на нанoeлектродах снятые с пациента с кардиостимулятором P18

На рис. 4 представлены данные пациента P18 с кардиостимулятором, снятые в тот же день с помощью стандартного электрокардиографа CardioFax GEM (NIHON KONDEN).

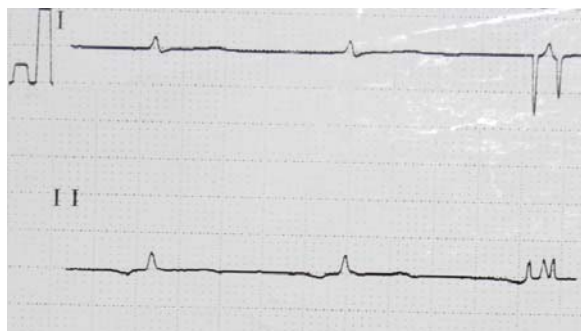


Рис. 4. Электрокардиограммы пациента с кардиостимулятором P18, зарегистрированные на стандартном электрокардиографе с разрешением по времени 25мм/с и по амплитуде 10мм/мВ

По результатам проведенных медицинских исследований установлено:

- электрокардиограф на нанoeлектродах позволяет регистрировать сигнал с уровнем, составляющим единицы мкВ;
- нет необходимости фильтровать сигнал с электрокардиографа на нанoeлектродах;
- запись электрокардиограммы у пациентов с кардиостимулятором не содержит артефакты, вызванные его работой.

Литература.

1. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс] // Сердечно-сосудистые заболевания. – URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/> (Дата обращения 06.03.2013).\
2. Авдеева Д.К., Рыбалка С.А., Южаков М.М. Разработка метода измерения широкополосных сигналов нановольтового и микровольтового уровня для электрофизиологических исследований // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – №11.– С. 37-38
3. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ: учебное пособие. М.: КноРус, 2010. 224 с.

РАСЧЕТ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ НАНОЧАСТИЦЫ ЗОЛОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ РАЗМЕРА

А.А. Каширина, студент гр. ОД-101

*научный руководитель: Маркидонов А.В., к.ф.-м.н., доцент каф. АиАП
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева*

Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке

654000, г. Новокузнецк, ул. Орджоникидзе, 7

E-mail: markidonov_artem@mail.ru

В последнее время стремительно развивается физика низкоразмерных структур. Это связано с тем, что с уменьшением размеров структурных единиц до наноуровня, они приобретают новые свойства, обусловленные возрастающей ролью поверхностных атомов и взаимодействий. Среди исследуемых наночастиц особое место занимают металлические наночастицы. Большой интерес представляет применение наночастиц, например золота, в медицине. Они используются для диагностики и лечения злокачественных опухолей, ревматоидного артрита, полиартрита и т.д.

При исследовании наночастиц одной из основных характеристик является поверхностная энергия, так как она важна для определения энергии адгезии [1]. Существует ряд работ, в которых осуществляется расчет поверхностной энергии наночастиц в зависимости от их размера [2, 3], согласно которым значение поверхностной энергии увеличивается с ростом размера наночастицы и должна приближаться к значению, рассчитанному для макротела. Тем не менее, остается не выясненным, при каком размере наночастицы значение ее поверхностной энергии можно считать совпадающим со значением поверхностной энергии макротела.

В связи с вышесказанным, целью работы является определение размера наночастицы золота, при котором ее поверхностная энергия по величине будет совпадать со значением поверхностной энергии для макротела.

Объект исследования в настоящей работе отличает малый размер, что затрудняет прямые наблюдения. Поэтому наиболее рациональным видится использование метода 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 [4]. В качестве потенциальной функции межатомного взаимодействия использовался потенциал Джонсона, рассчитанный в рамках метода погруженного атома. Шаг интегрирования равнялся 5 фс.

Температура расчетной ячейки задавалась путем присвоения атомам случайных скоростей в соответствии с распределением Максвелла-Больцмана для указанной температуры. Моделирование проводилось при постоянной температуре (канонический ансамбль). Для сохранения температуры расчетной ячейки использовался термостат Андерсена.

Для создания наночастицы в кристаллической структуре, моделирующей кристаллит золота, задавалась сфера с некоторым радиусом. Затем центр сферы совмещался с одним из узлов решетки, и удалялись все атомы вне этой сферы. После удаления атомов осуществлялась структурная релаксация расчетной ячейки до прихода системы в состояние с минимальной энергией. Очевидно, что плоскость $\{111\}$ имеет наименьшую поверхностную энергию по сравнению с другими кристаллографическими плоскостями, именно поэтому поверхности наночастиц золота состоят из фрагментов восьми плоскостей типа $\{111\}$ и шести типа $\{100\}$ (см. рис. 1).

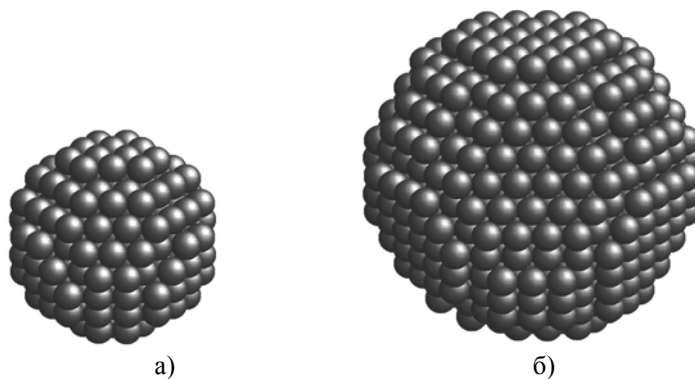


Рис. 1. Наночастицы золота радиусом 10 (а) и 15 (б) Å

Удельную поверхностную энергию будем рассчитывать по формуле:

$$\sigma(R) = \frac{U_p(N) - U}{4\pi R^2},$$

где $U_p(N)$ – потенциальная энергия наночастицы, состоящей из N атомов, U – потенциальная энергия массивного образца, R – радиус наночастицы.

В [5] приведено значение поверхностной энергии для золота при температуре 1243 К, равное 1.45 ± 0.08 Дж/м². Проведем расчет при такой же температуре. Полученные значения представлены на рис. 2. Пунктирные линии соответствуют пределам изменения значений энергии, указанной в [5].

Как следует из рис. 2, начиная с $R = 16$ Å удельная поверхностная энергия наночастицы по величине совпадает с аналогичной энергией массивного образца. Для подтверждения данного вывода сравним полученные результаты с другими экспериментальными данными (см. табл. 1).

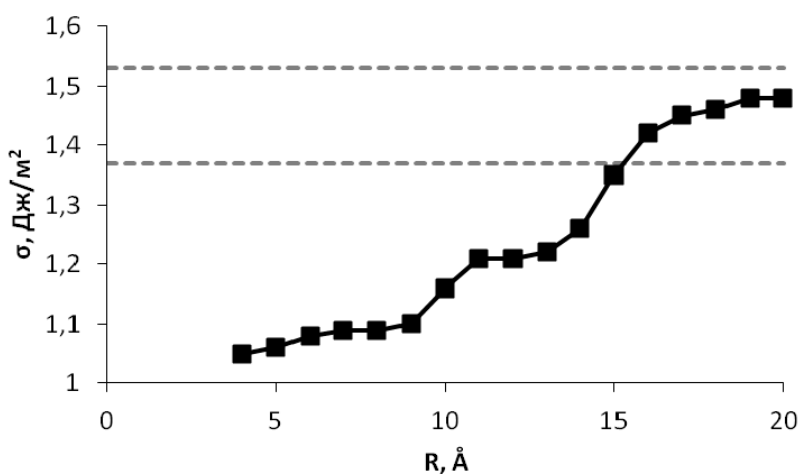


Рис. 2. Зависимость удельной поверхностной энергии от радиуса наночастицы

Таблица 1

Т, К	Расчетная величина поверхностной энергии					Литературные данные [5, 6]
	σ, Дж/м ²					
	Полученные значения					
	R = 14	R = 15	R = 16	R = 17	R = 18	
1243	1.26	1.35	1.42	1.42	1.46	1.45 ± 0.08
1250	1.30	1.34	1.40	1.44	1.44	1.45 ± 0.02
1270	1.28	1.36	1.43	1.45	1.51	1.35 ± 0.05
1297	1.33	1.34	1.43	1.47	1.51	1.14
1348	1.32	1.37	1.43	1.49	1.50	1.13
1350	1.33	1.38	1.42	1.47	1.49	1.29 ± 0.08
1356	1.32	1.39	1.44	1.53	1.50	1.36

Данные таблицы подтверждают ранее сделанный вывод. Расхождение в литературных данных обусловлено использованием различной методики при определении поверхностной энергии.

Таким образом, по результатам проделанной работы можно сделать вывод, что начиная с радиуса наночастицы золота, равного 15 – 16 Å, поверхностную энергию наночастицы можно считать совпадающей по величине с поверхностной энергией макротела.

Литература.

1. Рогожина Т.С. Контактная энергия в зоне адгезии металлов // Исследовано в России [Electronic resource]. Mode of access : <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/174.pdf>
2. Магомедов М.Н. О зависимости поверхностной энергии от размера и формы нанокристалла // Физика твердого тела. 2004. Т. 46. Вып. 5. С. 924 – 937.
3. Соколов Д.Н., Комаров П.В., Сдобняков Н.Ю., Самсонов В.М. Исследование тремодинамических характеристик нанокластеров металлов с использованием многочастичных потенциалов // Фазо-

- вые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы [Electronic resource]. Mode of access : http://www.ptosnm.ru/_files/Moduls/catalog/items/2009_12_9.pdf
4. XMD – Molecular Dynamics for Metals and Ceramics // [Electronic resource]. Mode of access : <http://xmd.sourceforge.net/about.html>.
 5. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М., и др. Физические величины: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
 6. Гладких Н.Т., Дукаров С.В., Крышталь А.П., и др. Поверхностные явления и фазовые превращения в конденсированных пленках. – Харьков: ХНУ имени Н.В. Карамзина, 2004. – 276 с.

НАКОПЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЛЬЕФА

Е.А. Алфёрова, к.ф.-м.н., доцент, А.А. Черняков, студент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652050, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 6-22-48
E-mail: katerina525@mail.ru

Изучение неоднородности деформации является важной задачей при исследовании пластической деформации. Вопросами неоднородности деформации поликристаллов занимались Надаи А., Кузнецов В.Д., Губкин С.И. и др.

В основе изучения пластической деформации лежит исследование картины деформационного рельефа для анализа сдвиговой деформации и использование рентгеноструктурного метода для анализа кристаллографических разориентировок. Если поверхность металлического образца отполировать, а затем подвергнуть нагружению, то на поверхности можно обнаружить системы параллельных тонких линий – линий скольжения. Указанные линии являются проявлением неоднородности деформации, в этом случае деформация локализована в плоскости скольжения. В начале XX века Розенхайн и Эвинг показали, что эти линии представляют собой ступеньки на поверхности, возникающие в результате микроскопических сдвиговых смещений вдоль кристаллографических плоскостей [1]. Согласно Хирту Дж. и Лоте И. [2]. Скольжением называется смещение, реализовываемое движением единичных дислокаций. В случае, когда скольжение осуществляется при участии многих дислокаций его называют сдвигом. В этом случае линии, образующиеся на полированной поверхности кристалла, более правильно было бы называть линиями сдвига [3]. В указанных линиях сдвига также локализуется пластическая деформация.

Изучению неоднородности деформации монокристаллов посвящено значительно меньше работ. Вместе с тем, результаты, полученные при изучении неоднородности деформации монокристаллов могут быть полезны при рассмотрении деформации отдельного зерна поликристалла, а также при проектировании деталей из монокристаллов.

Важную роль в изучении неоднородности деформации монокристаллов играют томские металлофизики. В ИФПМ СО РАН Паниным В.Е., Зуевым Л.Б., Даниловым В.И., Деревягиной Л.С. и их коллегами деформация монокристаллов изучается с использованием метода спеклинтерферометрии и полей векторов смещения [4-5].

В Томском государственном архитектурно-строительном университете неоднородность деформации монокристаллов изучают по картине деформационного рельефа. В этом направлении большая работа проделана Коневои Н.А., Козловым Э.В., Старенченко В.А., Тепляковой Л.А., Лычагиным Д.В., Абзаевым Ю.А. с сотрудниками [3, 6-7].

Ранее авторами с коллегами было количественно определена неоднородность пластической деформации монокристаллов никеля в зависимости от ориентации оси сжатия и боковых граней. Выявлены и систематизированы структурные элементы деформационного рельефа, определены их доли, что позволило выявить роль областей, занятых этими элементами на макро- и мезоуровне, в пластической деформации исследованных монокристаллов. Было установлено, что внутри деформационных доменов, сформированных различными структурными элементами рельефа неоднородность деформации близка, а места локализации деформации наблюдаются на стыках доменов [8-10]. В связи с чем, задачей данной работы является изучение способа организации деформации в группах параллельных структурных элементов деформационного рельефа.

Материал и методика

В работе в качестве объекта исследования были выбраны монокристаллы никеля с ориентациями оси сжатия в углах стандартного стереографического треугольника. В работе использовали образцы с отношением высоты (h) к ширине (d) равной двум. Данное соотношение наиболее принято при испытании образцов на сжатие, т.к. с одной стороны они обладают достаточной степенью устойчивости искривлению, чем более высокие образцы, с другой стороны в них еще имеется достаточный объем, в котором действует схема одноосного сжатия (при $h/d=1$ реализуется схема всестороннего сжатия).

В работе исследовали монокристаллы чистого никеля (примеси менее 0,01%), выращенные по методу Бриджмена). Никель обладает высоким значением энергии дефекта упаковки (200 мДж/м^2). При комнатной температуре деформация в нем осуществляется сдвигом по октаэдрическим плоскостям скольжения. Все это делает никель хорошим модельным материалом для исследования организации деформации октаэдрическим скольжением.

Ориентировку образцов осуществляли на рентгеновском аппарате ИРИС 3 по эпиграммам с точностью $\pm 1^\circ$, а уточнение ориентации выполняли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 с точностью $\pm 0,02^\circ$. Поверхность образцов готовили механическим шлифованием и полированием, после чего проводили заключительное электролитическое полирование в насыщенном растворе хромового ангидрида в ортофосфорной кислоте при напряжении 20 В.

Деформирование сжатием проводили на испытательной машине Instron ElektroPuls E10000 со скоростью $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ при комнатной температуре. Для уменьшения силы трения на торцевых поверхностях применяли графитовую смазку.

Картину деформационного рельефа исследовали на оптическом микроскопе Leica DM 2500P и растровом электронном микроскопе Tescan Vega II LMU. Количественные данные по величине неоднородности деформации получали методом делительных сеток по методике, изложенной в [11].

На рис. 1 показана картина деформационного рельефа и структурные элементы рельефа, характерные для той или иной кристаллографической ориентации оси сжатия. Рассмотрение оптических снимков позволяет увидеть, что масштаб структурных элементов рельефа отличается. Как было указано ранее, масштаб структурного элемента деформационного рельефа не оказывает влияния на величину неоднородности деформации внутри домена.

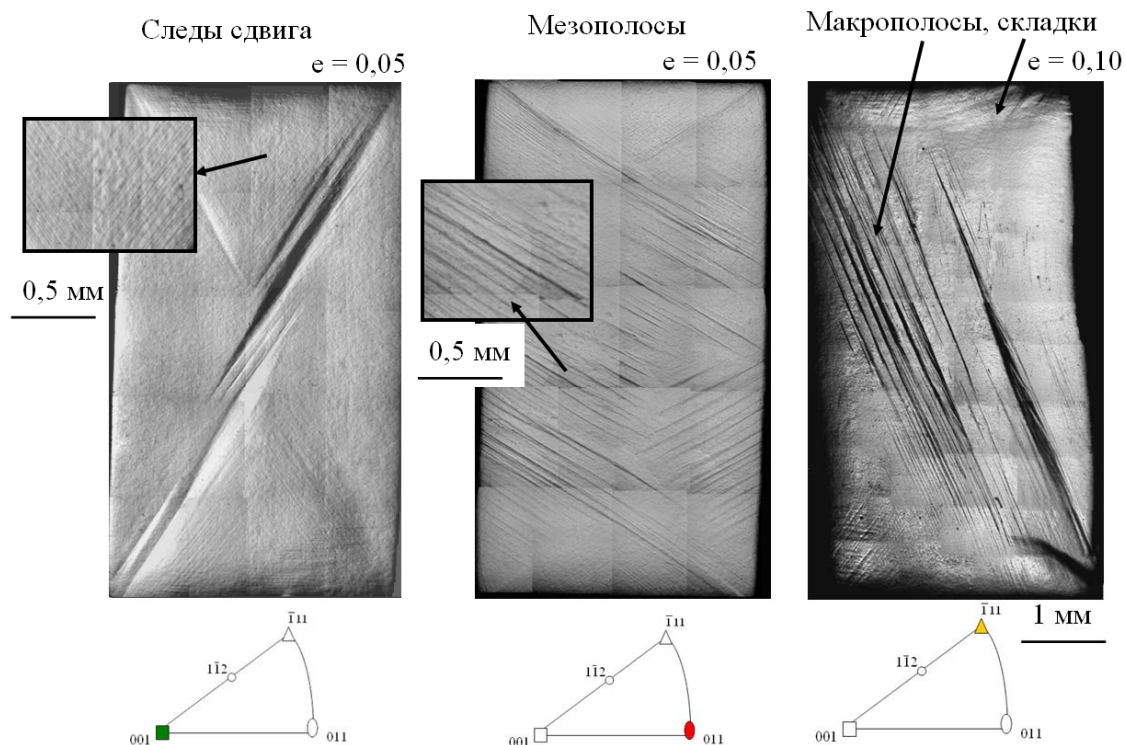


Рис. 1. Структурные элементы деформационного рельефа монокристаллов никеля с разной ориентацией оси сжатия

Для изучения организации деформации в параллельных структурных элементах деформационного рельефа в работе было рассмотрено распределение компонент деформации вдоль макрополос деформации, мезополос и следов сдвига. Измерения проводили вдоль структурных элементов (рис. 2), Результаты показаны тонкими линиями на рис. 2. Для всех рассмотренных в работе случаев наблюдается осциллирующий характер изменения компонент деформации вдоль структурных элементов деформационного рельефа.

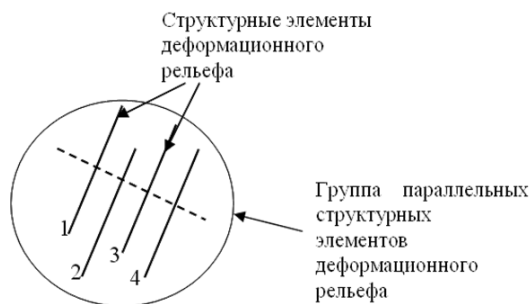


Рис. 2. К методике определения суммарной деформации в параллельных структурных элементах деформационного рельефа

В работе также было изучено распределение деформации в параллельно расположенных структурных элементах. Сравнение и суммирование деформации осуществляли перпендикулярно структурным элементам, при одном значении координаты X. Полученные данные показаны на рис. 3 толстыми линиями со звездочками.

Качественное рассмотрение поведения локальной деформации при одном значении координаты X с видительствует о том, что осциляция происходит таким образом, чтобы компенсировать деформацию в параллельных структурных элементах. Количественная оценка деформации в параллельных соседних структурных элементах показала,

что значения приближаются к среднему, и уменьшается амплитуда осцилляции этих значений, т.е. неоднородность деформации не накапливается, а компенсируется.

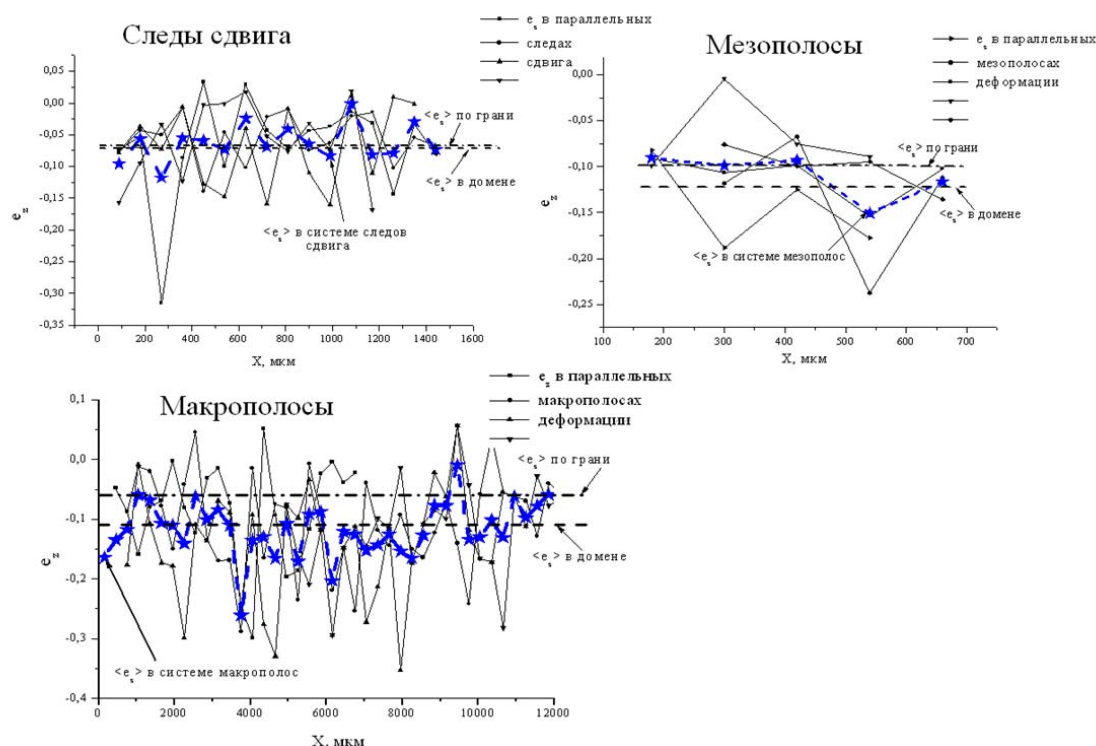


Рис. 3. Накопление деформации в параллельных структурных элементах деформационного рельефа

Следовательно, организация деформации в параллельных структурных элементах деформационного рельефа, образующих домен происходит таким образом, чтобы снизить неоднородность деформации внутри домена, а деформацию в данном локальном месте приблизить к средней деформации.

ции. Этот факт также подтверждают данные о том, что неоднородность деформации внутри деформационного домена ниже, чем на всей грани [8-10]. При этом с увеличением размеров структурных элементов повышается неоднородность деформации в местах стыка деформационных доменов, образованных этими структурными элементами.

Таким образом, независимо от масштаба структурного элемента деформационного рельефа наблюдается осцилляция компонент деформации вдоль отдельного элемента (следа сдвига, мезо- и макрополосы). Организация деформации в группе параллельных структурных элементов рельефа направлена на снижение внутримонодоменной деформации и понижение неоднородности ее протекания.

В заключении авторы благодарят профессора Лычагина Дмитрия Васильевича за плодотворное сотрудничество и обсуждение результатов.

Литература.

1. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов / Р. Хоникомб. – М.: Мир, 1972. – 408 с.
2. Хирт Дж. Теория дислокаций / Дж. Хирт, И. Лоте. – М.: Атомиздат, 1972. – 600 с.
3. Лычагин Д.В., Старенченко В.А., Соловьева Ю.В. Классификация и масштабная иерархия структурных элементов деформации ГЦК-монокристаллов // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 8. – №6. – С. 67-77.
4. Зуев Л.Б. Физика макролокализации пластического течения / Л.Б. Зуев, В.И. Данилов, С.А. Баранникова. – Новосибирск: Наука, 2008. – 328 с.
5. Данилов В.И., Заводчиков С.Ю., Баранникова С.А., Зыков И.Ю., Зуев Л.Б. Прямое наблюдение автоволны пластической деформации в циркониевом сплаве // Письма в ЖТФ. – 1998. – Т. 24. – № 1. – С. 26-30.
6. Деревягина Л.С., Панин В.Е., Гордиенко А.И. Самоорганизация пластических сдвигов в макрополосах локализованной деформации в шейке высокопрочных поликристаллов и ее роль в разрушении материала при одноосном растяжении // Физическая мезомеханика. – 2007. – Т.10. – №4. – С. 59-71.
7. 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.
8. Лычагин Д.В., Шаехов Р.В., Алфёрова Е.А. Влияние кристаллогеометрической установки на неоднородность сдвиговой деформации ГЦК-монокристаллов при сжатии // Фундаментальные проблемы современного материаловедения – 2008. – Т.5. – №2. – С. 101 – 108.
9. Lychagin D.V., Alfyorova E.A., Starenchenko V.A. Effect of crystallogometric states on the development of macrobands and deformation inhomogeneity in $[\bar{1}11]$ nickel single crystals // Physical Mesomechanics – 2011. – Т. 14. – №1-2 – С. 66-78.
10. Алфёрова Е.А., Лычагин А. Д., Лычагин Д. В., Старенченко В.А. Неоднородность деформации монокристаллов никеля с разной кристаллогеометрической установкой // Фундаментальные проблемы современного материаловедения – 2012. – Т.9. – №2. – С. 218 – 224.
11. Кукса Л.В., Ковальчук Б.И., Лебедев А.А., Эльманович В.И. Исследование микрокартины пластической деформации металлов в различных условиях нагружения // Проблемы прочности. – 1976. – №4. – С. 10-15.

СТОЛКНОВЕНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ДИСКРЕТНЫХ БРИЗЕРОВ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВАКАНСИЕЙ В ДВУМЕРНОМ КРИСТАЛЛЕ

А.А. Кистанов, ст. лаборант, Р.Т. Мурзаев, к.т.н., Л.З. Хадеева, аспирант

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН

E-mail: andrei.kistanov.ufa@gmail.com

Для двумерного моноатомного кристалла с морзевским межатомным взаимодействием описан способ возбуждения движущегося дискретного бризера (ДБ). Изучено столкновение двух ДБ, движущихся навстречу друг другу в одном плотноупакованном атомном ряду. Изучено взаимодействие движущегося ДБ с вакансией, расположенной в том же плотноупакованном атомном ряду, по которому движется ДБ.

Дискретный бризер (ДБ) это локализованная в пространстве колебательная мода большой амплитуды в бездефектной нелинейной решетке [1]. В настоящее время возрос интерес к изучению свойств ДБ в различных кристаллах [2-18]. Концепция ДБ начинает активно использоваться для объяснения различных физических явлений в кристаллах [19-22]. Для физических приложений важным является понятие квазibriзера [23], имеющего конечное время жизни и не удовлетворяющего условию строгой периодичности.

Существование ДБ обеспечивается наличием ангармонизмов межатомных сил, приводящих к зависимости частоты колебаний атомов от амплитуды. Для достаточно больших амплитуд колебаний частота ДБ находится вне фононного спектра кристалла. В этих условиях ДБ не возбуждает фононных мод, что и определяет его большое время жизни.

В данной работе продолжают исследования, начатые в [24]. В частности, методом молекулярной динамики в двумерном монокристалле получен движущийся ДБ и описан способ его возбуждения. Изучено столкновение двух дискретных бризеров, движущихся навстречу друг другу в одном плотноупакованном атомном ряду. Так же показано влияние скорости движущегося ДБ на результат его взаимодействие с вакансией.

Рассматривается модель двумерного плотноупакованного кристалла. Расчетная ячейка с периодическими граничными условиями содержала 160×160 атомов, имеющих две степени свободы – компоненты вектора перемещения в плоскости кристалла. ДБ возбуждался в центре расчетной ячейки, а на ее периферии водилось вязкое трение для поглощения малоамплитудных колебаний, излучаемых ДБ.

Взаимодействие атомов описывается парным потенциалом Морзе

$$V(r) = D(e^{-2\alpha(r-r_m)} - 2e^{-\alpha(r-r_m)}), \quad (1)$$

где r – расстояние между парой атомов, D , α , r_m – параметры потенциала. Функция $V(r)$ имеет минимум при $r=r_m$, глубина минимума (энергия разрыва связи) равна D , а параметр α определяет жесткость межатомной связи. Далее используются безразмерные единицы длины, энергии и времени, выбранные так, что $D=1$, $r_m=1$ и масса атома равна единице. Рассмотрены значения $\alpha=5$, для которого равновесное межатомное расстояние в кристалле равно $a=0.98813$ при радиусе обрезки потенциала равном 5.5.

Атомы одного из плотноупакованных рядов кристалла нумеровались индексом n , как показано на Рис. 1. Начальные условия для движущегося ДБ задавались следующим образом

$$x_n(t) = \cos[\omega t + \varphi_0 + \delta(n - x_0)]x_n^0, \quad y_n = 0, \quad \dot{y}_n = 0, \quad (2)$$

где ω – частота ДБ, лежащая выше фононного спектра кристалла, φ_0 – начальная фаза колебаний, δ – параметр, определяющий разность фаз колебаний соседних атомов, значения x_n^0 определены выражениями

$$x_n^0 = (-1)^n T_n + S_n, \quad T_n = \frac{A}{\cosh[\beta(n - x_0)]}, \quad S_n = \frac{-B(n - x_0)}{\cosh[\gamma(n - x_0)]}, \quad (3)$$

где параметр A определяет амплитуду ДБ, параметр B определяет амплитуду смещений центров колебаний атомов, параметры β и γ задают степень пространственной локализации ДБ, а x_0 – его начальное положение. При $x_0=0$ имеем ДБ центрированный на атоме, а при $x_0=1/2$ посередине между двумя соседними атомами. Функции T_n и S_n в (2) описывают амплитуды колебания и смещения центров колебания атомов, соответственно. То есть, $T_n = (x_{n,max} - x_{n,min})/2$, $S_n = (x_{n,max} + x_{n,min})/2$, где $x_{n,max}$ и $x_{n,min}$ – это максимальное и минимальное значение (квази)периодической функции $x_n(t)$, описывающей движение n -го атома плотноупакованного ряда. Отметим, что скорость ДБ зависит от δ , и при $\delta=0$ имеем неподвижный ДБ. Все атомы кроме выделенного плотноупакованного ряда имели нулевые начальные перемещения и скорости.

На рис. 1 показана стробоскопическая картина движения атомов рассматриваемого кристалла, показывающая движущийся ДБ, объединенная со стробоскопической картиной движения атомов рассматриваемого кристалла, показывающей ДБ, движущийся слева направо в направлении вакансии. Три атома соседних с вакансией занумерованы римскими цифрами. Для оценки потенциального барьера миграции атома I в вакантный узел исследуется эволюция во времени расстояния между атомами II и III, обозначенное $2Y$.

На рис. 2, а-з) показан пример встречного движения двух одинаковых ДБ в одном плотноупакованном атомном ряду в кристалле. Сдвиги фаз двух ДБ были заданы следующим образом, $\delta_1=0,04\pi$, $\delta_2=-\delta_1$, что обеспечило их движение навстречу друг другу с равными по абсолютному значению скоростями. Остальные параметры были одинаковы для обоих ДБ: $A=0,2565$, $B=0,015$, $\beta=\gamma=0,25$, $\omega=19,52$, $x_0=1/2$. Видно, что в результате столкновения ДБ сливаются в покоящийся ДБ, имеющий большую амплитуду чем исходные ДБ.

Численный эксперимент представленный на рис. 3 был повторен для $\delta_2=-0,8\delta_1$ (рис. 2). В этих случаях абсолютное значение скорости правого ДБ меньше, чем левого. В результате место столкновения ДБ смещается вправо и после столкновения двух ДБ образуется один, движущийся вправо.

На рис. 4 приведены два примера взаимодействия ДБ с вакансией. Функции T_n даны со сдвигом по вертикали для различных моментов времени с интервалом $\Delta t=5.07$. Положение вакансии показано вертикальной пунктирной линией. Параметры выражения (2), использованные для задания начальных

условий, следующие: а) $A=0.2565$, $B=0.015$, $\beta=\gamma=0.25$, $\omega=19.52$, $x_0=1/2$, $\delta=0.02\pi$; б) то же, кроме $\delta=0.04\pi$. Таким образом, на а) ДБ имеет скорость в два раза выше, чем на б). В случае а) происходит практически упругое отталкивание ДБ от вакансии, а в случае б) ДБ рассеивается на вакансии.

Было установлено, что для ДБ, инициированных со значениями $\delta \leq 0.035\pi$ ($V_{DB} \leq 4.51$), происходит упругое отталкивание от вакансии, а для $\delta \geq 0.04\pi$ ($V_{DB} \geq 5.15$) ДБ рассеивается на вакансии. Остальные параметры выражения (2) не изменились при задании начальных условий.

Методом молекулярной динамики в двумерном монокристалле получен движущийся ДБ и описан способ его возбуждения. Изучено столкновение двух дискретных бризеров, движущихся навстречу друг другу в одном плотноупакованном атомном ряду. Показано, что после столкновения двух ДБ с одинаковой по абсолютному значению скоростью образуется стоячий ДБ большей амплитуды, а при столкновении ДБ с разными скоростями образуется ДБ большей амплитуды, движущийся в сторону более быстрого ДБ. Так же изучено влияние скорости движущегося ДБ на результат его взаимодействия с вакансией. Показано, что для скорости ДБ меньше некоторого порогового значения он упруго отталкивается от вакансии, а при больших скоростях движения он рассеивается на вакансии.

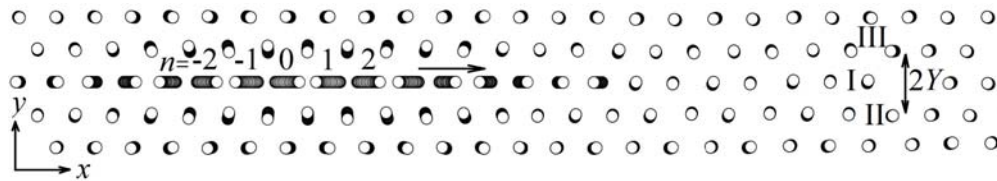


Рис. 1. Стробоскопическая картина движения атомов рассматриваемого кристалла, показывающая ДБ, движущийся вдоль плотноупакованного атомного ряда (в направлении вакансии). Перемещения атомов увеличены в 4 раза. Три атома соседних с вакансией занумерованы римскими цифрами. Для оценки потенциального барьера миграции атома I в вакантный узел исследуется эволюция во времени расстояния между атомами II и III, обозначенное $2Y$

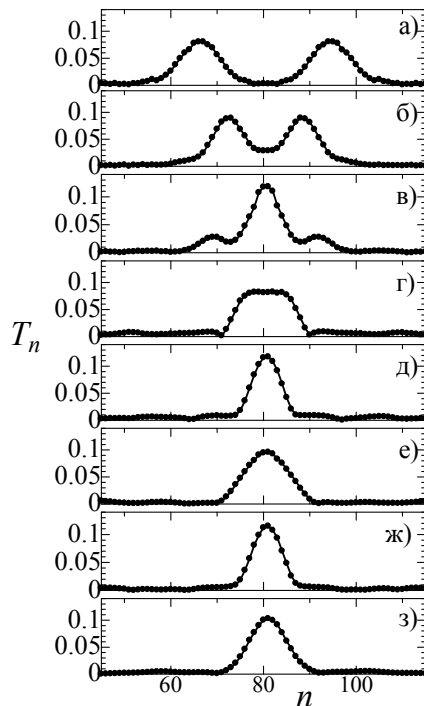


Рис. 2, а-з). Пример встречного движения двух ДБ для $\alpha=5$, возбужденного при помощи анзаца (1) с параметрами $A=0.2565$, $B=0.015$, $\beta=\gamma=0.25$, $\omega=19.52$, $x_0=1/2$, $\delta_1=0.04\pi$, $\delta_2=-\delta_1$. Функции T_n приведены с интервалом $\Delta t=12.68$

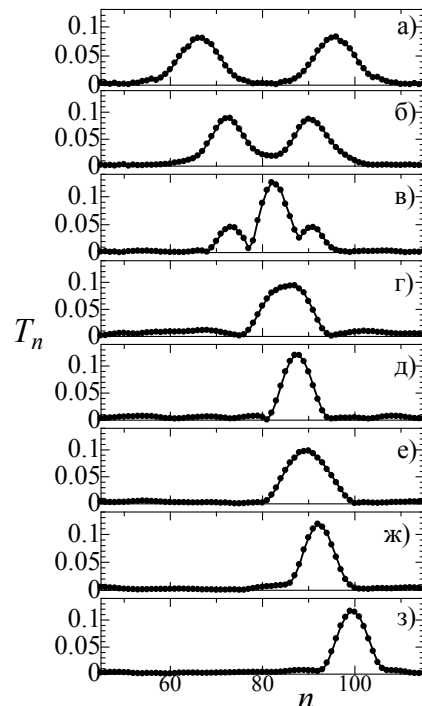


Рис. 3. То же, что и на Рис. 2, но для $\delta_2=-0.8\delta_1$

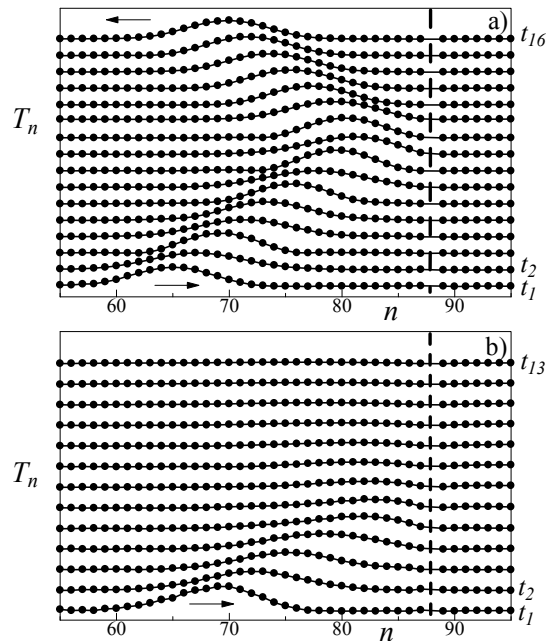


Рис. 4. Пример взаимодействия ДБ с вакансией положение которой отмечено вертикальной пунктирной линией. Параметры возбуждения ДБ см. в тексте. На а) скорость движения ДБ в два раза меньше, чем на б). На а) происходит практически упругое отталкивание ДБ от вакансии, а в случае б) ДБ рассеивается на вакансии

Литература.

1. Flach S., Gorbach A. V. // Phys. Rep. 2008. V. 467. P. 1.
2. Manley M.E. // Acta Mater. 2010. V. 58. P. 2926.
3. Manley M.E., Alatas A., Trouw F., Leu B.M., Lynn J.W., Chen Y., Hulst W.L. // Phys. Rev. B. 2008. V. 77. P. 214305.
4. Kempa M., Ondrejko P., Bourges P., Ollivier J., Rols S., Kulda J., Margueron S., Hlinka J. // J. Phys.: Condens. Matter. 2013. V. 25. P. 055403.
5. Kiselev S.A., Sievers A.J. // Phys. Rev. 1997. V. 55, P. 5755.
6. Khadeeva L.Z., Dmitriev S.V. // Phys. Rev. B. 2010. V. 81. P. 214306.
7. Кистанов А.А., Дмитриев С.В. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39(13). С. 78.
8. Кистанов А.А., Баимова Ю.А., Дмитриев С.В. // Письма в ЖТФ. 2012. Т. 38(14). С. 72.
9. Дмитриев С.В., Баимова Ю.А. // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37(10). С. 13.
10. Voulgarakis N.K., Hadjisavvas G., Kelires P.C., Tsironis G.P. // Phys. Rev. B. 2004. V. 69. P. 113201.
11. Savin A.V., Kivshar Yu.S. // Phys. Rev. B. 2012. V. 85. P. 125427.
12. Shimada T., Shirasaki D., Kitamura T. // Phys. Rev. B. 2010. V. 81. P. 035401.
13. Baimova J.A., Dmitriev S.V., Zhou K. // Europhys. Lett. 2012. V. 100. P. 36005.
14. Khadeeva L.Z., Dmitriev S.V., Kivshar Yu.S. // JETP Lett. 2011. V. 94. P. 539.
15. Liu B., Baimova J.A., Dmitriev S.V., Wang X., Zhu H., Zhou K. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2013. V. 46. P. 305302.
16. Naas M., Hizhnyakov V., Shelkan A., Klopov M., Sievers A.J. // Phys. Rev. B. 2011. V. 84. P. 144303.
17. Дмитриев С.В., Медведев Н.Н., Мулюков Р.Р., Пожидаева О.В., Потеев А.И., Старостенков М.Д. // Изв. вузов. Физика. 2008. Т. 51. № 8. С. 73.
18. Дмитриев С.В., Хадеева Л.З., Пшеничнюк А.И., Медведев Н.Н. // ФТТ. 2010. Т. 52. № 7. С. 1398.
19. Dubinko V.I., Selyshchev P.A., Archilla J.F.R. // Phys. Rev. E. 2011. V. 83. P. 041124.
20. Velarde M.G. // J. Comput. Appl. Math. 2010. V. 233. P. 1432.
21. Sievers A.J., Sato M., Page J.B., Rossler T. // Phys. Rev. B. 2013. V. 88. P. 104305.
22. Дмитриев С.В. // Письма о материалах. 2011. Т. 1(2). С. 78.
23. Chechin G.M., Dzhelauhova G.S., Mehonoshina E.A. // Phys. Rev. E. 2006. V. 74, P. 036608.
24. Кистанов А.А., Мурзаев Р.Т., Дмитриев С.В., Дубинко В.И., Хижняков В.В. // Письма в ЖЭТФ. 2014. Т. 99(6). С. 403.

РАСЧЕТ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ В УСЛОВИЯХ КОАЛЕСЦЕНЦИИ

Н.В. Кормишина, студент гр. ОД-101

*научный руководитель: Маркидонов А.В., к.ф.-м.н, доцент каф. АиАП
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева*

Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке

654000, г. Новокузнецк, ул. Орджоникидзе, 7

E-mail: markidonov_artem@mail.ru

Развитие современного материаловедения связано с развитием нанотехнологий. В настоящее время все большее применение находят нанокристаллические материалы, получаемые, например, при помощи компактирования ультрадисперсных порошков. Такие порошки отличаются от микропорошков меньшей температурой начала интенсивного окисления, более низким содержанием основного вещества, возросшей ролью поверхности, свойствами и структурой оксидной пленки [1]. Исследование формы и размеров ультрадисперсных порошков металлов, например, при помощи просвечивающей электронной микроскопии, затруднительно из-за склонности наночастиц к коалесценции. Именно коалесценция является одной из причин большой усадки спекаемого материала на основе ультрадисперсных порошков [2].

Актуальным является исследование процесса фазового перехода кристалл – расплав для наночастиц, так как результаты исследований позволят определить оптимальный температурный интервал работы нанокристаллических элементов. Известно, что температура плавления наночастиц во многом зависит от их размеров. Для определения температуры фазового перехода можно исследовать калорическую кривую $U(T)$. Процесс коалесценции должен отразиться на калорической кривой, в связи с тем, что слияние частиц приводит к уменьшению поверхности, и, как следствие, уменьшению внутренней энергии.

Целью работы является определение зависимости внутренней энергии нанокластера, образующегося при коалесценции двух наночастиц, от температуры.

Объект исследования в настоящей работе отличает малый размер, что затрудняет прямые наблюдения. Поэтому наиболее рациональным видится использование метода 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 [3]. В качестве потенциальной функции межатомного взаимодействия использовался потенциал Джонсона, рассчитанный в рамках метода погруженного атома. Шаг интегрирования равнялся 5 фс.

Температура расчетной ячейки задавалась путем присвоения атомам случайных скоростей в соответствии с распределением Максвелла-Больцмана для указанной температуры. Моделирование проводилось при постоянной температуре (канонический ансамбль). Для сохранения температуры расчетной ячейки использовался термостат Андерсена.

Объектом компьютерного эксперимента являлись две соприкасающиеся наночастицы никеля. Для их создания в кристаллической структуре задавались сферы с некоторым радиусом. Затем центр сфер совмещался с одним из узлов решетки, и удалялись все атомы вне этих сфер. После удаления атомов осуществлялась структурная релаксация расчетной ячейки до прихода системы в состояние с минимальной энергией.

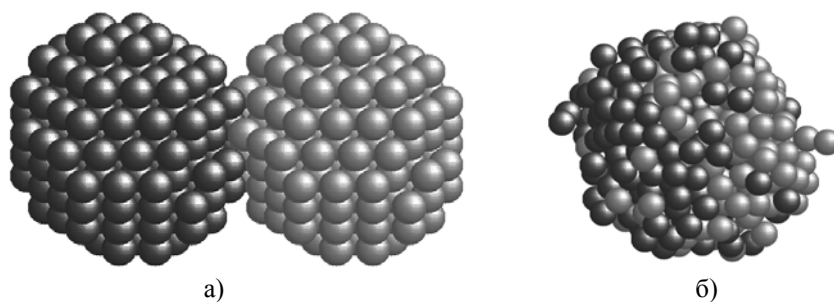


Рис. 1. Наночастицы Ni_{386} в начале эксперимента (а) и после релаксации при температуре 1500 К (б)

После построения расчетной ячейки осуществляется релаксация системы при различных постоянных значениях температуры и выполняется расчет полной энергии атомной системы, представляющую собой сумму кинетической и потенциальной энергий всех атомов, которая является внутренней энергией нанокластера. При заданной температуре система выдерживалась в течение 30 000 шагов компьютерного эксперимента. Значение энергии бралось как среднее из значений, определенных через каждую 1000 шагов. Все расчеты проводились для пар наночастиц, состоящих из 386 атомов. Внешний вид наночастиц в начале эксперимента и после выдержки при определенной температуре представлен на рис. 1.

Построенная калорическая кривая представлена на рис. 2. Локальные минимумы на кривой соответствуют процессу коалесценции, а скачки – плавлению. Из рисунка видно, что с увеличением размеров наночастиц увеличивается температура плавления. Кроме того, для наночастицы Ni_{562} калорическая кривая не имеет локального минимума как для частиц Ni_{266} и Ni_{386} , что, по-видимому, свидетельствует о том, что процесс плавления и коалесценции протекает одновременно. Данные результаты не противоречат имеющимся литературным данным. Так, например, в работе [4] методом Монте-Карло показано, что коалесценция наночастиц алюминия может происходить уже после плавления.



Рис. 2. Калорическая кривая, построенная для наночастиц из N атомов

Таким образом, проведенное исследование показало, что процесс коалесценции наночастиц предшествует непосредственно плавлению, и представляет собой локальный минимум на калорической кривой.

Литература.

1. Попок В.Н., Бычин Н.В. Исследование параметров окисления порошков металлов и неметаллов в среде воздуха // Исследовано в России [Electronic resource]. Mode of access: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/038.pdf>
2. Андриевский Р.А. Изменение физических свойств при спекании // Процессы массопереноса при спекании. – Киев: Наукова Думка, 1987. – С.100-106.
3. XMD – Molecular Dynamics for Metals and Ceramics // [Electronic resource]. Mode of access: <http://xmd.sourceforge.net/about.html>.
4. Сдобняков Н.Ю., Колосов А.Ю., Комаров П.В., Соколов Д.Н., Хашин В.А. Моделирование процесса коалесценции наночастиц алюминия методом Монте-Карло // Мониторинг. Наука и Технологии. 2012. Вып.3. С.97-106.

АНТИФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СВМПЭ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ MoS_2

Нгуен Суан Тьук, аспирант, С.В. Панин, д.т.н., проф., Л.А. Корниенко, к.ф.-м.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56

E-mail: thuc12@sibmail.com

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) в ряду полимерных связующих занимает особое место благодаря высокому сопротивлению изнашиванию, низкому коэффициенту трения, химической стойкости и высокой ударной вязкости СВМПЭ все чаще используется в машиностроении в узлах трения деталей машин и механизмов, а также изделия и конструкции специального назначения, в том числе корпусные элементы вооружений и военной техники, конструкционные материалы для авиа-, вертолето- и ракетостроения, средства индивидуальной и коллективной бронезащиты и т.д. [1]. Композиционные материалы на основе СВМПЭ позволяют кратно повысить износостойкость тяжело нагруженных изделий [2-4]. В последнее время активно разрабатываются микро- и нанокompозиты на основе СВМПЭ [5-9]. Тип и размер наполнителей определяются областью применения и средой использования композиций (вакуум, химически активная и инертная среда, криогенные либо повышенные температуры).

Дисульфид молибдена активно используются в качестве смазки (добавки в масла) в широком температурном режиме (-45 до +4000 С). Благодаря слоистому строению решетки дисульфид молибдена, имеют высокую адгезию к металлической поверхности, быстро формируя микрослой (защитную пленку), залечивающий микротрещины и зазоры, выравнивая поверхность трения [10].

Использование наполнителя в роли твердой смазки в настоящей работе исследованы трибомеханические характеристики композитов на основе СВМПЭ с наполнителем MoS_2 в условиях сухого трения и граничной смазки.

Материал и методики исследований

В работе использовали СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн. и размером частиц 5-15 мкм, дисульфид молибдена марки МВЧ-1 (\varnothing 1-7 мкм). Образцы полимерных композитов получали горячим прессованием при давлении 10 МПа и температуре 200° С со скоростью последующего охлаждения 5°С/мин. Износостойкость материалов в режиме сухого трения определяли по схеме «вал-колодка» при нагрузке на пару образцов 160 Н и скорости вращения вала 100 об/мин в соответствии с ASTM G99 на машине трения СМТ-1. Размер образцов равнялся 7*7*10 мм³. Диаметр контртела из стали ШХ15 составлял 62 мм. Поверхности трения образцов исследовали на оптическом профилометре Zygo New View 6200. Площадь дорожки трения определяли с помощью программного обеспечения «Rhino Ceros 3.0». Механические характеристики определяли при разрывных испытаниях на электромеханической испытательной машине Instron 5582.

Результаты исследований

В табл. 1 приведены механические характеристики СВМПЭ с разными наполнителями. В результате исследований оказалось, что твердость СВМПЭ при добавлении MoS_2 незначительно изменяется, плотность новых композитов повышается с увеличением содержания MoS_2 . Предел текучести, как и предел прочности, уменьшаются с ростом содержания наполнителя в композиции, а величина относительного удлинения заметно возрастает.

Таблица 1

Механические свойства композиций СВМПЭ- MoS_2

Содержание наполнителя MoS_2 , вес. %	Плотность ρ , г/см ³	Твердость по Шору D	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Удлинение до разруш. ε , %
0	0,936	56,7	19,2	34,3	470
3	0,954	56,2	18,4	26,2	494
5	0,975	56,9	18,6	26,9	515
10	1,010	56,9	18,7	26,7	535

На рис. 1 приведены интенсивности изнашивания композиций СВМПЭ + n вес. % MoS_2 .

Из графика видно, что при введении наполнителей износостойкость СВМПЭ значительно уменьшается. Наименьший износ наблюдается в 2 раза при добавлении 10 вес. % MoS_2 .

График тоже показал, что износ изнашивания СВМПЭ в условии смазочной среды (дистиллированной воде) меньше в 2 раза, чем износ изнашивания в условии сухого трения. Оптимальное значение износостойкости достигается при добавлении 10 вес. % MoS_2 .

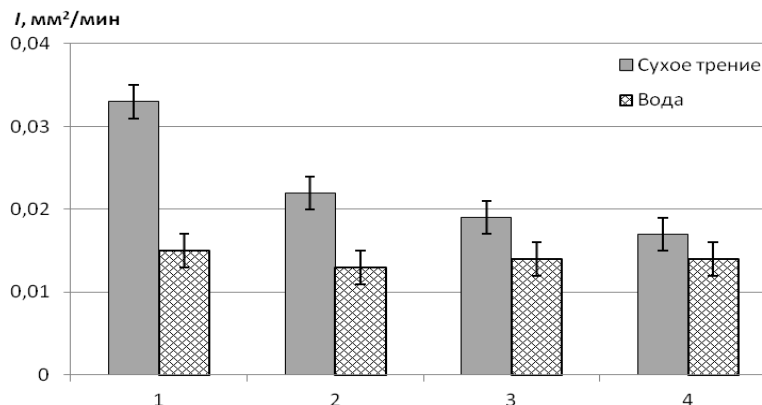


Рис. 1. Интенсивность изнашивания (I) СВМПЭ и композитов СВМПЭ- MoS_2 : чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 3 вес.% MoS_2 (2), СВМПЭ + 5 вес.% MoS_2 (3), СВМПЭ + 10 вес.% MoS_2 (4) на стадии установившегося износа в режимах сухого трения и смазки (дистиллированная вода)

На рис. 2 приведены шероховатости поверхности дорожек трения СВМПЭ и композитов СВМПЭ- MoS_2 .

Видно, что изменение шероховатости поверхностей изнашивания коррелирует с интенсивностью износа, наименьшее значение шероховатости наблюдается в 2 раза при добавлении 10 вес. % MoS_2 .

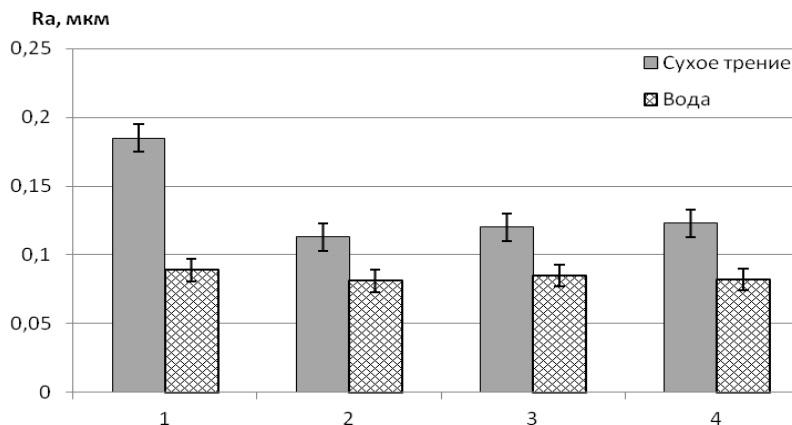


Рис. 2. Шероховатость поверхности дорожки трения (R_a) СВМПЭ и композитов СВМПЭ- MoS_2 : чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 3 вес.% MoS_2 (2), СВМПЭ + 5 вес.% MoS_2 (3), СВМПЭ + 10 вес.% MoS_2 (4) на стадии установившегося износа в режимах сухого трения и смазки (дистиллированная вода)

Заключение

На основе сравнения полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Введение промышленно выпускаемого наполнителя MoS_2 незначительно снижает механические свойства композиций на основе СВМПЭ (предел текучести, предел прочности); износостойкость композиций на основе СВМПЭ повышается при наполнении его 3-10 вес. % наполнителя вдвое при сухом трении скольжения
2. Дисульфид молибдена играет роль твердой смазки в СВМПЭ при испытании в условии сухого трения и при испытании в условии смазочной воде, обеспечивает высокую износостойкость новых композитов в экстремальных условиях эксплуатации (низкие температуры, агрессивные среды).

Литература.

1. Козлова С.П. Трансфер технологий из транспортной отрасли в городское хозяйство по созданию изделий, обладающих антиобледенительными и антикоррозионными свойствами и способных работать в агрессивной среде / «Полимерный кластер Санкт-Петербурга», 2012.
2. Harley L. Stein. Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)//Engineered Materials Handbook.-1999, Vol.2: Engineering Plastics.
3. Охлопкова А.А., Гоголева О.В., Шиц Е.Ю. Полимерные композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и ультрадисперсных соединений//Трение и износ.- 2004(25), № 2, 202-206.
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. Jiansong Zhou, Fengyuan Yan. Improvement of the Tribological Behavior of Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene by Incorporation of Poly (Phenyl p-Hydroxyzoate) // Journal of Applied Polymer Science.- 2005, Vol.96, 2336-2343.
6. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах.-М.: Химия, 2000, 672 с.
7. Ruan S.L., Gao P., Yang X.G., Yu T.X. Toughening high performance ultrahigh molecular weight polyethylene using multiwalled carbon nanotubes // Polymer. – 2003 (44), N 19, 5643-5654.
8. Виноградов А.В., Охлопкова А.А. Износостойкость дисперсно-наполненного ПТФЭ и критические концентрации ультрадисперсного наполнителя // Трение и износ. – 1995(16), №5, 931-937.
9. С.В. Панин, В.Е. Панин, Л.А. Корниенко, Т. Пувадин и др. Модифицирование сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) нанонаполнителями для получения антифрикционных композиций// Известия вузов. Химия и химическая технология.- 2011 (54), вып.7, с. 102-106.
10. Shriver D.F., Atkins P.W., Overton T.L., Rourke J.P. Inorganic Chemistry.- New York: W.H. Freeman, 2006, 326 p.

КАЛОРИМЕТРИЯ ДИТЕЛЛУРИТОКАДМАТ (II) МАГНИЯ

К.Т. Рустембеков, д.х.н., проф., Г.К. Рустембекова, к.х.н.

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

100028, г. Караганда, ул. Университетская, 28

E-mail: rustembekov_kt@mail.ru

Теллур и его соединения являются перспективными объектами для поиска новых полупроводниковых и сегнетоэлектрических материалов. Особенно это касается малоизученных сложных оксосоединений, в частности, двойных теллуридов s-d-элементов, которые представляют определенный как теоретический, так и практический интерес для неорганического материаловедения в качестве перспективных веществ, обладающих ценными физико-химическими свойствами.

Цель данной работы – синтез и исследование теплоемкости и термодинамических свойств дителлуритокадмат (II) магния – $MgCd(TeO_3)_2$.

Для синтеза двойного теллурида кадмия-магния использовали оксид теллура (IV) марки «ос.ч.», оксид кадмия и карбонат магния квалификации «х.ч.». Методика синтеза аналогична, приведенная в работах [1, 2]. Образование равновесного состава и индивидуальность соединения контролировались с помощью методов рентгенофазового и химического анализов.

Рентгеновскую съемку образца осуществляли на дифрактометре ДРОН-2,0 (CuK_{α} -излучение). Дифрактограммы порошков синтезированного соединения индцировали методом гомологии [3]. Корректность индцирования подтверждена близким совпадением экспериментальных и расчетных значений $10^4/d^2$ и согласованностью рентгеновской и пикнометрической плотностей. Данные рентгенографического исследования показывают, что синтезированное соединение кристаллизуется в структурном типе искаженного перовскита P_m3_m .

Теплоемкость теллурида исследовали методом динамической калориметрии [1, 2] на серийном приборе ИТ-С-400 в интервале температур 298,15-673К. В таблице 1 приведены полученные результаты. Погрешности измерения теплоемкости при всех температурах находятся в пределах точности прибора ($\pm 10\%$) [4].

Таблица 1

Экспериментальные данные по удельной
и мольной теплоемкостям $\text{MgCd}(\text{TeO}_3)_2$

Т, К	$C_p \pm \bar{\delta},$ Дж/(г К)	$C_p^0 \pm \Delta,$ Дж/(моль К)	Т, К	$C_p \pm \bar{\delta},$ Дж/(г К)	$C_p^0 \pm \Delta,$ Дж/(моль К)
298,15	0,3144±0,0082	153±11	498	0,5853±0,0031	286±4
323	0,3745±0,0067	184±9	523	0,5882±0,0061	287±8
348	0,4159±0,0044	203±6	548	0,5134±0,0049	251±7
373	0,4609±0,0045	225±6	573	0,4368±0,0031	213±4
398	0,4991±0,0028	244±4	598	0,4822±0,0022	235±3
423	0,5322±0,0047	260±6	623	0,5399±0,0115	263±16
448	0,5535±0,0044	270±6	648	0,5833±0,0035	285±5
473	0,5734±0,0071	280±10	673	0,6140±0,0081	300±11

Для усредненных значений удельных теплоемкостей при каждой температуре определяли среднеквадратичные отклонения ($\bar{\delta}$), а для мольных теплоемкостей – случайные составляющие погрешности Δ [2].

Случайные составляющие погрешности опытных значений теплоемкостей укладываются в пределах погрешности прибора. Проверку работы калориметра проводили измерением теплоемкости $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Найденное опытным путем значение $C_p^0(298,15)$ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ составило 76,0 Дж/(моль·К), что вполне удовлетворяет справочному (79,0 Дж/(моль·К)) [5].

При исследовании зависимости теплоемкости $\text{MgCd}(\text{TeO}_3)_2$ от температуры при 523 К обнаружен резкий аномальный λ -образный скачок, связанный, вероятно, с фазовым переходом II рода. Этот переход может быть связан с катионным перераспределением, с изменением коэффициента термического расширения и изменением магнитного момента синтезированного теллурида (рисунок).

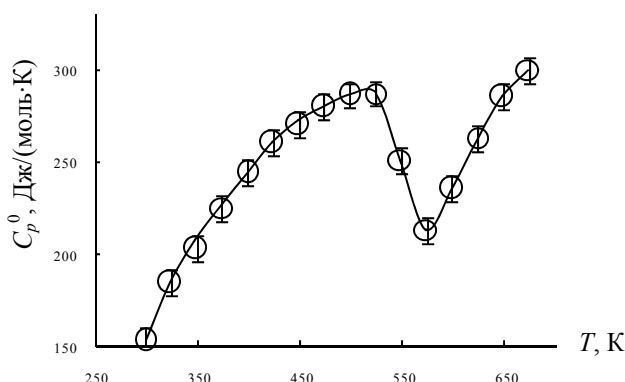
На основании экспериментальных данных (табл. 1), с учетом температуры фазового перехода II рода выведены уравнения температурной зависимости теплоемкости соединения [Дж/(моль·К)]:

$$C_p^0 = (394,7 \pm 12,2) - (68,9 \pm 2,1) \cdot 10^{-3} T + (196,0 \pm 6,0) \cdot 10^{-5} T^2, \quad (298,15-523\text{K})$$

$$C_p^0 = (641,0 \pm 19,7) + (676,9 \pm 20,9) \cdot 10^{-3} T, \quad (523-573\text{K})$$

$$C_p^0 = (818,4 \pm 25,2) - (310,6 \pm 9,6) \cdot 10^{-3} T - (1402,9 \pm 43,2) \cdot 10^{-5} T^2, \quad (573-673\text{K})$$

На рис. 1 приведено графическое изображение зависимости $C_p^0 \sim f(T)$.

Рис. 1. Температурная зависимость теплоемкости $\text{MgCd}(\text{TeO}_3)_2$

С использованием опытных данных по $C_p^0 \sim f(T)$ и расчетного значения $S^0(298,15)$ [6] по известным соотношениям в интервале 298,15-673 К рассчитаны термодинамические функции $C_p^0(T)$, $S^0(T)$, $H^0(T) - H^0(298,15)$ и $\Phi^{xx}(T)$ теллурида (табл. 2).

Таблица 2

Термодинамические функции $\text{MgCd}(\text{TeO}_3)_2$ в интервале 298,15-673 К

T, К	$C_p^0(T) \pm \Delta$, Дж/(моль К)	$S^0(T) \pm \Delta$, Дж/(моль К)	$H^0(T) - H^0(298,15) \pm \Delta$, Дж/(моль К)	$\Phi^{xx}(T) \pm \Delta$, Дж/(моль К)
298,15	155±5	247±7	-	247±15
300	156±5	248±15	310±10	247±15
325	188±6	262±16	4611±142	248±15
350	211±6	277±17	9588±295	249±15
375	230±7	292±18	15096±465	252±15
400	245±8	307±19	21028±648	255±15
425	258±8	323±20	27302±841	258±16
450	268±8	338±21	33852±1043	262±16
475	276±8	352±21	40629±1251	267±16
500	282±9	366±22	47593±1466	271±16
525	287±9	380±23	54710±1685	276±17
550	269±8	393±24	61638±1898	281±17
575	252±8	405±25	68144±2099	286±17
600	241±7	415±25	73876±2275	291±18
625	265±8	425±26	80226±2471	297±18
650	284±9	436±26	87102±2683	302±18
675	301±9	447±27	94424±2908	307±19

Таким образом, методом динамической калориметрии в интервале 298,15-673 К исследована изобарная теплоемкость двойного теллурида магния-кадмия. Выведены уравнения ее температурной зависимости, рассчитаны зависимости термодинамических функций от температуры. В ходе изменения теплоемкости от температуры при 523 К обнаружен λ -образный эффект, вероятно относящийся к фазовому переходу II рода, свидетельствующий о ценных электрофизических свойствах нового двойного теллурида кадмия.

Результаты исследований могут представлять интерес для направленного синтеза халькогенидов с заданными свойствами, для физико-химического моделирования химических и металлургических процессов с участием соединений теллура, а также могут служить исходными данными для фундаментальных справочников и информационных банков по термодинамическим константам неорганических веществ.

Литература.

1. Рустембеков К.Т., Дюсекеева А.Т., Шарипова З.М. Рентгенографические, термодинамические и электрофизические свойства двойного теллурида натрия-цинка //Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. - №3. – С. 16-19.
2. Рустембеков К.Т. Теплоемкость и термодинамические функции теллурида кальция-кадмия в интервале 298,15-673 К // Известия Томского политехнического университета. - 2010.-Т. 317.- №2. - С. 144-146.
3. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. - М.: Изд-во МГУ, 1976. - 256 с.
4. Техническое описание и инструкции по эксплуатации ИТ-С-400. - Актюбинск: Актюбинский завод «Эталон», 1986. - 48 с.
5. Robie R.A., Hewingway B.S., Fisher J.K. Thermodynamic Properties of Minerals and Related Substances at 298.15 and (10⁵ Paskals) Pressure and at Higher Temperatures. Washington. United States government printing office, 1978. - 456 p.
6. Кумок В.Н. Прямые и обратные задачи химической термодинамики. - Новосибирск: Наука, 1987. - 144 с.

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНОЙ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕЖАТОМНОЙ СВЯЗИ В СТЕКЛАХ

М.В. Дармаев, к.т.н., ст. преп., С.С. Бадмаев, к.т.н., доц., Д.С. Сандитов, д.ф.-м.н., проф.

Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ

Институт физического материаловедения СО РАН

670000, Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, тел. (3012) 21-38-04

E-mail: sanditov@bsu.ru

Настоящая работа посвящена расчету и анализу предельной упругой деформации межатомной связи применительно к неорганическим стеклам.

Разлагая потенциальную энергию межатомного взаимодействия $U(r)$ в ряд по степеням смещения атома относительно положения равновесия $x=(r-r_0)$, в рамках одномерной модели твердого тела можно прийти к следующему соотношению для потенциала $U(x)$ двух смежных частиц [1]

$$U \cong \frac{ax^2}{2} - \frac{bx^3}{6},$$

где a – гармонический, а b – ангармонический коэффициенты (величины a и b определены соответственно второй и третьей производными функции $U(r)$ при $r = r_0$).

Сила межатомного взаимодействия $F = -(dU / dx)$ выражается формулой

$$F \cong -ax + \frac{b}{2}x^2. \tag{1}$$

В точке перегиба кривой $U(r)$ величина силы взаимодействия атомов $F(x)$ проходит через максимум (рис. 1).

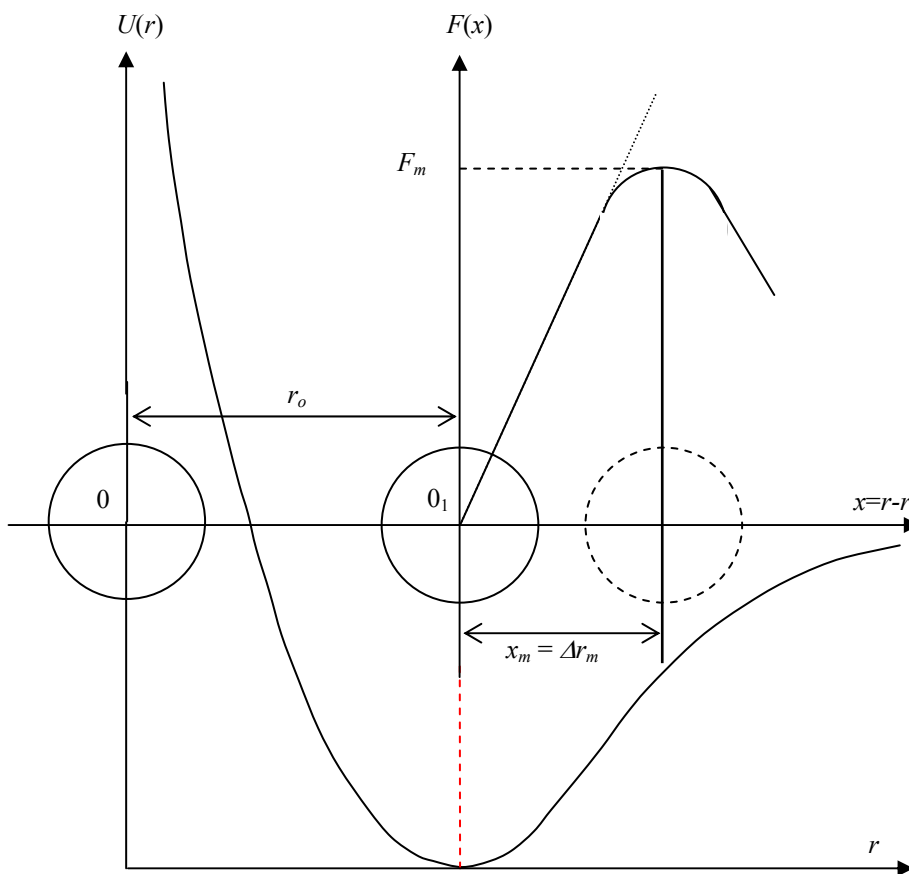


Рис. 1. Схема делокализации атома (возбуждения межатомной связи) Δr_m – предельная деформация связи (критическое смещение атома), соответствующая максимуму силы межатомного притяжения F_m ; r_0 – среднее расстояние между атомами

Поэтому критическое удлинение межатомной связи $x_m=(r_m-r_0)$, соответствующее максимуму силы межатомного притяжения F_m , определяется из условия $(dF/dx)_{x=x_m} = 0$. Используя зависимость (1), находим предельное удлинение связи между атомами: $x_m=a/b$, откуда относительная предельная деформация межатомной связи равна ($x_m=\Delta r_m$)

$$\frac{\Delta r_m}{r_0} = \frac{a}{br_0}. \quad (2)$$

Френкель [1, стр. 171] для коэффициента объемного теплового расширения β твердого тела предложил следующее выражение

$$\beta = \frac{bk}{2ar_0^2 B},$$

где k – постоянная Больцмана, B – упругий модуль объемного сжатия. Умножив правую часть данного равенства на отношение $(3N_A r_0/3N_A r_0)$, можно представить его в виде

$$\beta \cong \left(\frac{br_0}{6a}\right) \frac{C_V}{BV}. \quad (3)$$

Здесь $C_V \cong 3N_A k = 3R$ – молярная теплоемкость, $V \cong N_A r_0^3$ – молярный объем, N_A – число Авогадро, R – газовая постоянная.

Из сравнения соотношения (3) с известным термодинамическим уравнением Грюнайзена

$$\beta = \gamma_D \frac{C_V}{BV} \quad (4)$$

приходим к следующей микроскопической интерпретации параметра Грюнайзена γ_D

$$\gamma_D = \frac{br_0}{6a}. \quad (5)$$

Эту формулу (5) можно вывести строго с привлечением квантовой механики [2], включая область низких температур.

Использование выражения (5) в равенстве (2) приводит к выводу о том, что предельная деформация межатомной связи определяется величиной γ_D

$$\frac{\Delta r_m}{r_0} = \frac{1}{6\gamma_D}. \quad (6)$$

Параметр Грюнайзена γ_D характеризует нелинейность силы межатомного взаимодействия и ангармонизм колебаний решетки. Он пропорционален ангармоническому коэффициенту: $\gamma_D \sim b$ (см. (5)). Предельная деформация связи ($\Delta r_m/r_0$) также связана с отклонением силы межатомного взаимодействия $F(x)$ от линейной зависимости (рис. 1). Из формулы (2) видно, что чем больше коэффициент ангармоничности b , тем при меньшей деформации связи ($\Delta r_m/r_0$) происходит переход от линейной упругой к нелинейной неупругой деформации. Поэтому понятно, почему величины γ_D и $\Delta r_m/r_0$ оказываются взаимосвязанными.

Таблица

Стекло	μ	γ _D	Δr _m /r ₀
Щелочно-силикатные стекла			
K ₂ O-SiO ₂ K ₂ O, мол. %	13	0.230	0.12
	25	0.270	0.10
	32	0.250	0.11
	Сульфатно-фосфатные стекла		
NaPO ₃ -Na ₂ SO ₄ Na ₂ SO ₄ , мол. %	0.294	1.74	0.10
	10	0.299	1.77
	20	0.292	1.72
	30	0.288	1.70

Стекло	μ	γ_D	$\Delta r_m/r_0$
Калиево-боратные стекла			
K ₂ O-B ₂ O ₃	K ₂ O, мол. %		
	1.1	0.292	1.72
	2.5	0.293	1.73
	3.9	0.293	1.73
	8.5	0.293	1.73
	13.0	0.295	1.74

Наряду с уравнением (4) предложены другие способы расчета параметра Грюнайзена γ_D . Заслуживает внимания соотношение Беломестных-Теслевой, позволяющее оценку γ_D из данных о коэффициенте Пуассона μ [3],

$$\gamma_D = \frac{3}{2} \left(\frac{1+\mu}{2-3\mu} \right). \quad (7)$$

Примечательно то, что эта зависимость $\gamma_D(\mu)$ находится в согласии с уравнением Грюнайзена (4) [3, 4].

Из равенств (6) и (7) следует, что относительная предельная деформация межатомной связи является однозначной функцией коэффициента Пуассона μ

$$\frac{\Delta r_m}{r_0} = \frac{(2-3\mu)}{9(1+\mu)}. \quad (8)$$

У неорганических стекол величина μ меняется в узких пределах (табл.). У стеклообразных систем одного класса $\mu \approx const$. Поэтому у них относительная предельная деформация межатомной связи оказывается в первом приближении «универсальной» постоянной, равной около 0.1 (табл.),

$$\left(\frac{\Delta r_m}{r_0} \right) \approx const \approx 0.09 - 0.12. \quad (9)$$

У калиево-боратных и сульфатно-фосфатных стекол имеем $(\Delta r_m/r_0) \cong 0.10$, а у щелочно-силикатных – $(\Delta r_m/r_0) \cong 0.11 - 0.12$ (табл.).

Критическое смещение связанного атома (рис. 1) называется его делокализацией [5]. В неорганических стеклах и их расплавах в качестве кинетической единицы, подвергающейся делокализации, выступает мостиковый атом типа атома кислорода в мостике Si-O-Si, ответственный за вязкое течение.

Таким образом, относительная предельная деформация межатомной связи $(\Delta r_m/r_0)$ у стекол одного класса оказывается практически постоянной величиной, составляющей около 10% от среднего расстояния между атомами.

Постоянство относительной предельной деформации межатомной связи (9) можно рассматривать как полуэмпирический критерий элементарного акта процесса размягчения стекол, который (по аналогии с известным правилом плавления Линдемана) можно сформулировать следующим образом: когда амплитуда тепловых колебаний мостикового атома Δr_m достигает определенной доли среднего межатомного расстояния r_0 , возбужденный делокализованный мостиковый атом теряет устойчивость и начинается переход стекло–жидкость. Предполагается, что критическое смещение атома реализуется при температуре размягчения под действием теплового давления [6]. С этой точки зрения размягчение стекол обусловлено возникновением колебательной неустойчивости атомов в узлах решетки, как и в случае плавления кристаллов [7].

Литература.

1. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. Л.-М.: ОГИЗ, 1948. 291 с.
2. Бурштейн А.И. Молекулярная физика. Новосибирск: Наука, 1986. 288 с.
3. Беломестных В.Н., Теслева Е.П. // ЖТФ. 2004. Т. 74. Вып. 8. С. 140.
4. Сандитов Д.С., Беломестных В.Н. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 11. С. 77.
5. Сандитов Д.С. // ЖЭТФ. 2012. Т. 142. Вып. 1. С. 123.
6. Сандитов Д.С., Дармаев М.В., Сандитов Б.Д., Мантатов В.В. // Журн. физ. химии. 2008. Т.82. № 7. С. 812.
7. Sanditov D.S. // J.Non-Cryst.Solids. 2014. V. 385. S. 148.

КОЭФФИЦИЕНТ ПУАССОНА И КРИТИЧЕСКОЕ СМЕЩЕНИЕ АТОМОВ В СТЕКЛАХ

*В.С. Сыдыков**, аспирант, *С.Б. Мункуева**, аспирант, *Д.С. Сандитов****, д.ф.-м.н., проф.

**Бурятский государственный университет, Улан-Удэ, 670000, Россия*

***Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ, 670047, Россия*

E-mail: sanditov@bsu.ru

В модели делокализованных атомов аморфных сред [1] предельная упругая деформация межатомной связи Δr_m обусловлена флуктуационным смещением связанной частицы на критическое расстояние Δr_m , соответствующее перегибу кривой потенциала $U(r)$ (иначе, максимуму силы межатомного взаимодействия). Критически смещенная кинетическая единица называется делокализованным атомом. Процесс делокализации атома играет важную роль в ряде свойств аморфных веществ.

Настоящая работа посвящена установлению определенной взаимосвязи между коэффициентом Пуассона и элементарным объемом $\Delta v_e = \pi d^2 \Delta r_m$, необходимым для делокализации атома, применительно к стеклообразным твердым телам.

Коэффициент Пуассона μ характеризует приращение объема тела при одноосной деформации ε_x

$$\frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_x(1 - 2\mu). \quad (1)$$

Как показал Микитишин [2], функция коэффициента Пуассона $(1 - 2\mu)$ выражается через физические величины, связанные с тепловыми колебаниями кристаллической решетки, в частности, с температурой Дебая θ_D . Для изотропных структур с гранецентрированной и объемноцентрированной кубическими решетками зависимость $(1 - 2\mu)$ от $\theta_D \sqrt{m}/T_e$ оказывается линейной – экспериментальные точки на графиках ложатся на прямые. Здесь m – атомная масса, T_e – температура испарения, которая используется для нормировки размерностей [2].

Данная линейная зависимость означает, что величина $(1 - 2\mu)$ тесно связана со среднеквадратичным смещением атома из равновесного положения $\langle \Delta r^2 \rangle$, ибо произведение $\theta_D \sqrt{m}$ является фактически однозначной функцией $\langle \Delta r^2 \rangle$ [2]. Отсюда можно предположить, что функция коэффициента Пуассона $(1 - 2\mu)$ для аморфных тел должна быть определенным образом взаимосвязана с элементарным объемом Δv_e делокализации атома, который вычисляется по формуле [1]

$$\Delta v_e = kT_g/f_g B, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана, T_g – температура стеклования, B – модуль объемного сжатия, $f_g = (\Delta V_e/V)_{T=T_g}$ – доля флуктуационного объема, замороженная при $T = T_g$.

Флуктуационный объем аморфных сред ΔV_e возникает в результате критических тепловых смещений кинетических единиц из равновесных положений

$$\Delta V_e = N_e \Delta v_e, \quad (2)$$

где N_e – число делокализованных атомов.

В самом деле, у стеклообразных твердых тел одного класса наблюдается линейная зависимость $(1 - 2\mu)$ от объема делокализации атома Δv_e (рис. 1-3).

На основе установленной нами закономерности (рис. 1-3) можно сделать заключение о том, что в приращении объема стеклообразного твердого тела $\Delta V/V$ при одноосной деформации (1) важную роль играет процесс делокализации атома. По-видимому, изменение объема стекла $\Delta V/V$ при одноосном растяжении происходит примерно так же, как и при его тепловом расширении в результате приращения флуктуационного объема за счет делокализации атомов [3]. Иначе говоря, можно предположить, что приращение объема стекла как при его нагревании, так и при одноосном растяжении под механическим воздействием происходят главным образом по механизму делокализации атомов.

В органических аморфных полимерах «делокализация атома» сводится к критическому смещению небольшого участка основной цепи макромолекулы – предположительно группы атомов, объединенных в соединительное звено [1], что приводит к локальной предельной упругой деформации межмолекулярных связей. На такое смещение (деформацию) участка цепи заметное влияние

оказывают боковые разветвления («боковые привески»). Минимальным значением μ обладает полиэтилен, у которого роль боковой цепи («привески») играет легкий атом водорода. Замещение атомов водорода более крупными и тяжелыми атомами фтора при переходе от полиэтилена к политетрафторэтилену приводит к росту μ от 0.25 до 0.33. Далее, при замене фтора в повторяющемся звене политетрафторэтилена атомом хлора при переходе к политетратрифторхлорэтилену наблюдается еще больший рост μ : от 0.33 до 0.37 [4].

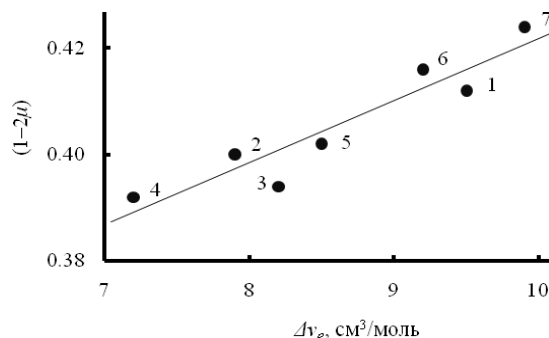


Рис. 1. Зависимость функции коэффициента Пуассона $(1-2\mu)$ от флуктуационного объема делокализации атома ΔV_e для фосфатных стекол $\text{NaPO}_3\text{-Li}_2\text{SO}_4$ и $\text{NaPO}_3\text{-Na}_2\text{SO}_4$. Содержание Li_2SO_4 , мол. %: 1 – 0, 2 – 10, 3 – 20, 4 – 30; Na_2SO_4 , мол. %: 5 – 10, 6 – 20, 7 – 30

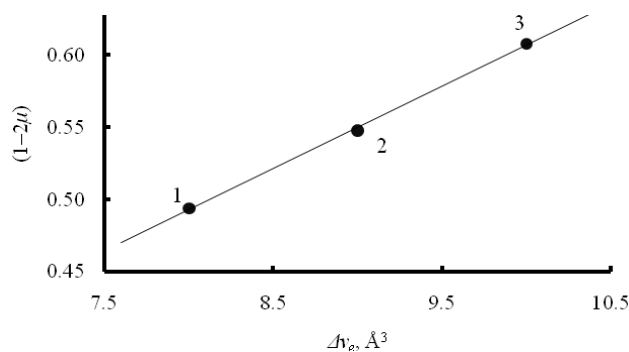


Рис. 2. Зависимость $(1-2\mu)$ от ΔV_e у натриевосиликатных стекол $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$. Содержание Na_2O , мол. %: 1 – 15, 2 – 25, 3 – 35

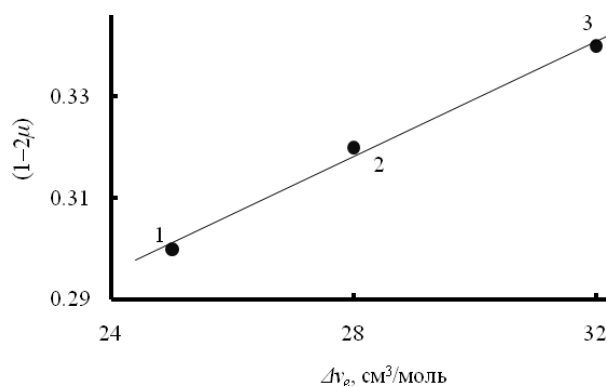


Рис. 3. Зависимость $(1-2\mu)$ от ΔV_e у аморфных полимеров. 1 – поливинилхлорид, 2 – полистирол, 3 – полиметилметакрилат

В неорганических стеклах и их расплавах "образованию делокализованного атома" соответствует низкоактивационный мелкомасштабный процесс локальной предельной упругой деформации структурной сетки, обусловленный критическим смещением мостикового атома типа атома кислорода в структурном фрагменте кремнекислородной сетки Si-O-Si [1]. На такое смещение мостикового

атома (локальную деформацию сетки) оказывают определенное влияние ионы щелочных и щелочно-земельных металлов – «боковые привески».

При увеличении содержания ионов натрия (окиси натрия Na_2O) в натриево-силикатных стеклах $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ от 0 до 35 мол. % коэффициент Пуассона возрастает от $\mu = 0.17$ у кварцевого стекла SiO_2 до значения $\mu = 0.25$ у стекол $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ (35 мол. % Na_2O), характерного для изотропных тел с центральными силами взаимодействия частиц.

Известно, что при увеличении содержания ионов щелочных металлов R^+ (содержания R_2O в мол. %) в щелочно-силикатных стеклах $\text{R}_2\text{O-SiO}_2$ ($\text{R}=\text{Li}, \text{Na}, \text{K}$) возрастает степень ионности межатомных связей и происходит переход от сеточной структуры с направленными силами межатомного взаимодействия (у кварцевого стекла SiO_2) к преимущественно ионной изотропной разветвленной структуре с центральными силами взаимодействия ионов (у стекол $\text{R}_2\text{O-SiO}_2$). При введении R_2O в кварцевое стекло SiO_2 часть мостиковых связей Si-O-Si разрушается и образуются немостиковые ионы кислорода (Si-O^-), к которым присоединяются ионы щелочных металлов ($\text{Si-O}^-\text{R}^+$). Они («боковые привески») располагаются в пустотах кремнекислородной сетки. При одинаковых содержаниях R_2O коэффициент Пуассона μ растет в сторону увеличения размеров ионов щелочных металлов в ряду Li-Na-K .

Таким образом, коэффициент Пуассона, хотя меняется в небольших пределах, относится к структурно-чувствительным свойствам аморфных твердых тел, зависящим от их атомно-молекулярного строения и динамики решётки. Развито представление о том, что относительное изменение объема стеклообразных твердых тел ($\Delta V/V$) при одноосной деформации определено возможностью делокализации кинетических единиц, что находится в согласии с линейной зависимостью между функцией коэффициента Пуассона ($1 - 2\mu$) и объемом Δv_e , необходимым для делокализации атома.

Литература.

1. Сандитов Д.С. // ЖЭТФ. 2012. Т. 142. Вып. 1. С. 123–137.
2. Микитишин С.И. // Физико-химическая механика материалов. 1982. Т. 18. № 3. С. 84–88.
3. Сандитов Б.Д., Сангадиев С.Ш., Сандитов Д.С. // Физ. и хим. стекла. 2013. Т. 39. № 4. С. 382–389.
4. Перепечко И.И. Свойства полимеров при низких температурах. М.: Химия, 1977. 271 с.

ПОВЕДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПУАССОНА ЩЕЛОЧНО-ГАЛЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ LiX, NaX ($\text{X} = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$)

Э.Г. Соболева, к.ф. – м.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 6-44 -32

E – mail: sobolevaeno@mail.ru

Упругие свойства щелочно-галлоидных кристаллов сравнительно детально изучены за исключением анизотропных коэффициентов Пуассона $\sigma_{<hkl>}$. Галогениды щелочно-галлоидных кристаллов представляют собой кристаллические вещества с кубической гранцентрированной решеткой типа NaCl (рис. 1). В таблицах 1 приведены некоторые физико-химические свойства этих кристаллов с химическими формулами LiX, NaX ($\text{X} = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$).

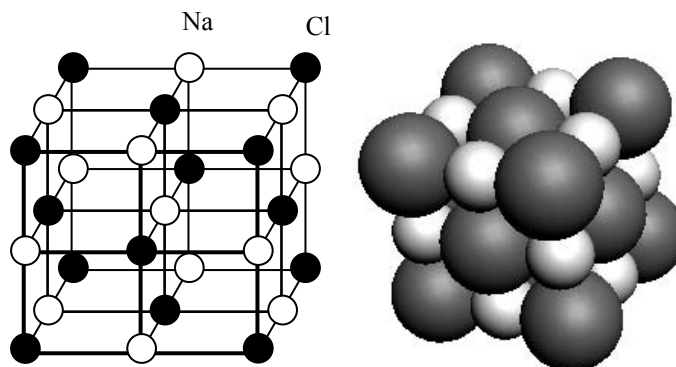


Рис. 1. Структура решетки кубических кристаллов типа NaCl [1]

Некоторые физико-химические свойства
щелочно-галогидных кристаллов (300 К) [2]

Свойство	LiF	LiCl	LiBr	LiI
1. Плотность ρ , 10^3 кг/м ³	2,601	2,075	3,470	4,061
2. Период решетки a , Å	4,0297	5,1398	5,501	6,012
3. Компоненты тензора упругой жесткости c_{ij} , ГПа				
c_{11}	106,77	49,40	39,40	28,50
c_{12}	39,38	22,60	18,70	14,00
c_{44}	63,33	24,90	17,30	13,50
4. Температура плавления $T_{пл}$, К	1122	883	823	742
	1143	887	822	719
5. Температура Дебая θ , К	701	398	244	166
6. Энергия решетки U , кДж/моль	1010	841	798	742
7. Молярная теплоемкость при постоянном давлении C_p , Дж/моль·К	41,8	48,0	49,8	51,0
8. Соотношение Коши $\Delta = c_{12}/c_{44}$	0,622	0,908	1,081	1,037
9. Фактор упругой анизотропии $A = \frac{2c_{44}}{c_{11} - c_{12}}$	1,880	1,858	1,672	1,862
Свойство	NaF	NaCl	NaBr	NaI
1. Плотность, 10^3 кг/м ³	2,79	2,165	3,21	3,52
2. Период решетки, Å	4,62	5,627	5,96	6,46
3. Компоненты тензора упругой жесткости c_{ij} , ГПа				
c_{11}	97,10	49,60	39,65	30,07
c_{12}	24,30	13,10	10,29	9,12
c_{44}	28,00	12,68	9,95	7,33
4. Температура плавления, К	1265	1074	1028	935
5. Температура Дебая, К	466,1	299,2	208,3	156,3
6. Энергия решетки, кДж/моль	913	765	728	682
7. Молярная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(моль·К)	46,82	49,71	51,40	52,22
8. Соотношение Коши $\Delta = c_{12}/c_{44}$	0,87	1,03	1,03	1,24
9. Фактор упругой анизотропии $A = \frac{2c_{44}}{c_{11} - c_{12}}$	0,77	0,70	0,68	0,70
10. Точка упругой изотропии ($A = 1$), К	923	637	700	673

Из таблицы 1 следует, что фактор упругой анизотропии ведет себя по-разному, например, для галогенидов лития $A > 1$, а для галогенидов натрия $A < 1$. Соотношение Коши Δ для данной группы кристаллов увеличивается по ряду $F \rightarrow Cl \rightarrow Br \rightarrow I$.

Начиная с последней четверти прошлого века и по настоящее время мы являемся свидетелями все возрастающего интереса к одному из основных физико-механических параметров твердого тела, введенного Симеонам Дени Пуассоном 200 лет назад и названного в его честь [3 – 5]. Коэффициент Пуассона служит относительной мерой поперечной деформации и наиболее информативным параметром теории упругости.

Коэффициенты Пуассона в особых кристаллографических направлениях $\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$ кубических монокристаллов находили по известным соотношениям

$$\sigma_{\langle 100,001 \rangle} = \frac{c_{12}}{c_{11} + c_{12}}, \quad \sigma_{\langle 110,001 \rangle} = \frac{2c_{12}}{c_{11} + 3c_{44}}$$

$$\sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle} = \frac{2Bc_s - c_{11}c_{44}}{3Bc_s + c_{11}c_{44}}, \sigma_{\langle 111,111 \rangle} = \frac{3B - 2c_{44}}{6B + 2c_{44}}, \quad (1)$$

где $B = \frac{1}{3}(c_{11} + 2c_{12})$, $c_s = \frac{1}{2}(c_{11} - c_{12})$.

Для поиска средних значений коэффициента Пуассона σ (коэффициента Пуассона поликристаллов) использовали связь этого параметра с модулем объемной упругости (модулем всестороннего сжатия) B и модулем сдвига G :

$$\sigma = \frac{3B - 2G}{2(3B + G)}. \quad (2)$$

При этом модуль сдвига находили как среднее арифметическое значение из трех приближений – Фохт-Ройс-Хилла (ФРХ) [6] $G_{\text{ФРХ}}$, G. Peregada [7] G_{Per} и К. С. Александрова [8] $G_{\text{Ал}}$.

Значения коэффициентов Пуассона моно- и поликристаллов галогенидов лития и натрия при стандартных условиях сведены в таблицу 2. Из таблицы 2 видно, что коэффициенты Пуассона щелочно-галогенидных кристаллов возрастают по ряду $F \rightarrow Cl \rightarrow Br \rightarrow I$ (т.е. при переходе к более тяжелым галогенам). Анизотропные коэффициенты Пуассона для галогенидов лития образуют неравенство $\sigma_{\langle 110,001 \rangle} > \sigma_{\langle 100 \rangle} > \sigma_{\langle 111 \rangle} > \sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle}$. При этом среди минимальных коэффициентов Пуассона один отрицательный (LiF, $\sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle} = -0,04$, кристалл в этом направлении обладает аномальными деформационными свойствами). Анизотропные коэффициенты Пуассона в галогенидах натрия при тех же условиях подчиняются следующей закономерности: $\sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle} > \sigma_{\langle 111 \rangle} > \sigma_{\langle 100 \rangle} > \sigma_{\langle 110,001 \rangle}$.

Известна взаимосвязь параметра Грюнайзена γ и коэффициента Пуассона σ [1]:

$$\gamma = \frac{3}{2} \left(\frac{1 + \sigma}{2 - 3\sigma} \right), \quad (4)$$

позволяющая оценить по известным σ меру ангармонизма межатомных колебаний и нелинейности сил межатомных взаимодействий. Как видно из таблицы 2, эта мера является типичной для ионных кристаллов и закономерно возрастает от LiF к LiI и от NaF к NaI.

Температурные зависимости коэффициентов Пуассона кристаллов LiX представлены на рис. 2. Рис. 2, а демонстрирует примерно одинаковый характер температурных изменений для всех пяти коэффициентов Пуассона кристалла LiF – плавное слегка нелинейное вначале увеличение сменяется уменьшением с ростом температуры, скорость которого возрастает в области предплавления. Значения трех коэффициентов Пуассона – $\sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle}$, $\sigma_{\langle 111 \rangle}$, σ – при повышении температуры последовательно переходят из положительной области в отрицательную соответственно при температурах 260 К, 800 К и 1065 К. Таким образом, обнаружен замечательный факт: кристалл LiF в состоянии предплавления становится ауксетиком (при продольном растяжении/сжатии он аномально расширяется/сужается в перпендикулярном направлении).

Таблица 2

Коэффициенты Пуассона и параметр Грюнайзена щелочно-галогенидных кристаллов (300 К)

Кристалл	$\sigma_{\langle 100 \rangle}$	$\sigma_{\langle 110,001 \rangle}$	$\sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle}$	$\sigma_{\langle 111 \rangle}$	σ	γ
LiF	0,27	0,38	-0,04	0,12	0,19	1,27
LiCl	0,31	0,45	0,02	0,19	0,24	1,35
LiBr	0,32	0,44	0,08	0,22	0,27	1,54
LiI	0,33	0,48	0,03	0,21	0,26	1,62
NaF	0,20	0,17	0,32	0,26	0,24	1,44
NaCl	0,21	0,17	0,37	0,29	0,26	1,53
NaBr	0,22	0,18	0,38	0,29	0,27	1,59
NaI	0,23	0,18	0,39	0,30	0,28	1,64

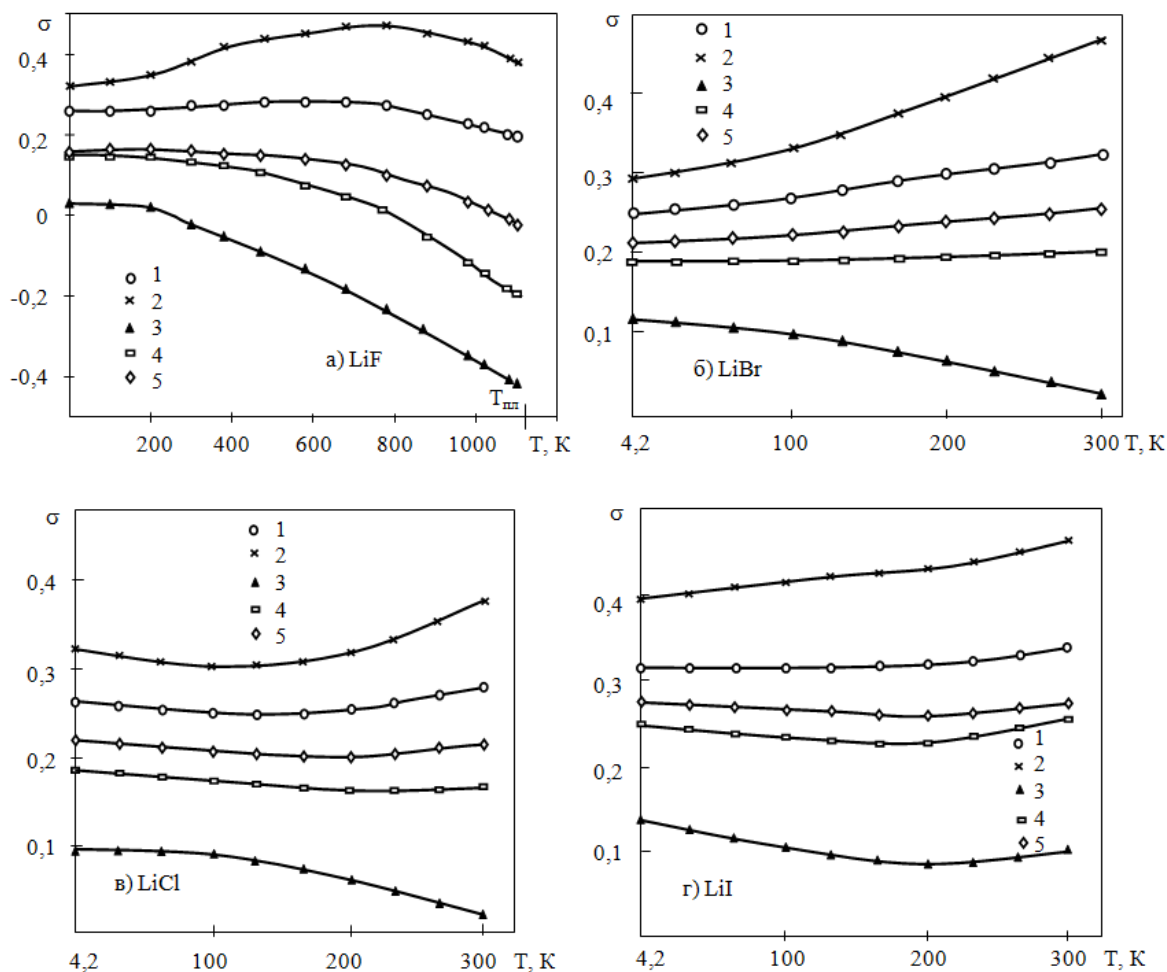


Рис. 2. Температурные изменения коэффициентов Пуассона кристалла LiX:

1) $\sigma_{\langle 100 \rangle}$; 2) $\sigma_{\langle 110,001 \rangle}$; 3) $\sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle}$; 4) $\sigma_{\langle 111 \rangle}$; 5) σ (поликристалл) [9]

Для других галогенидов лития (рис. 2, б - г) температурные изменения коэффициентов Пуассона в низкотемпературной области сходны с начальными участками кривой для LiF. Можно ожидать, что при некоторых $T > 300$ К $\sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle}$ кристаллов LiCl и LiBr станут отрицательными.

Температурные зависимости коэффициентов Пуассона кристаллов NaX показаны на рис. 3. Виды этих зависимостей для отдельных кристаллов натриевого ряда в целом схожи между собой: как и следовало ожидать, в точках упругой изотропии все коэффициенты Пуассона данного кристалла равны между собой ($\sigma_{\langle 100 \rangle} = \sigma_{\langle 110,001 \rangle} = \sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle} = \sigma_{\langle 111 \rangle} = \sigma$). Подобного не наблюдалось для аналогичных зависимостей $\sigma_{\langle hkl \rangle}(T)$ и $\sigma(T)$ в кристаллах галогенидов натрия. При температурах выше соответствующих точек упругой изотропии кристаллов NaX анизотропия их коэффициентов Пуассона описывается следующим неравенством: $\sigma_{\langle 110,001 \rangle} > \sigma_{\langle 100 \rangle} > \sigma_{\langle 111 \rangle} > \sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle}$. В области предплавления NaCl вид зависимостей $\sigma(T)$ напоминает аналогичные кривые в NaClO_3 , только без перехода в отрицательную область значений [1].

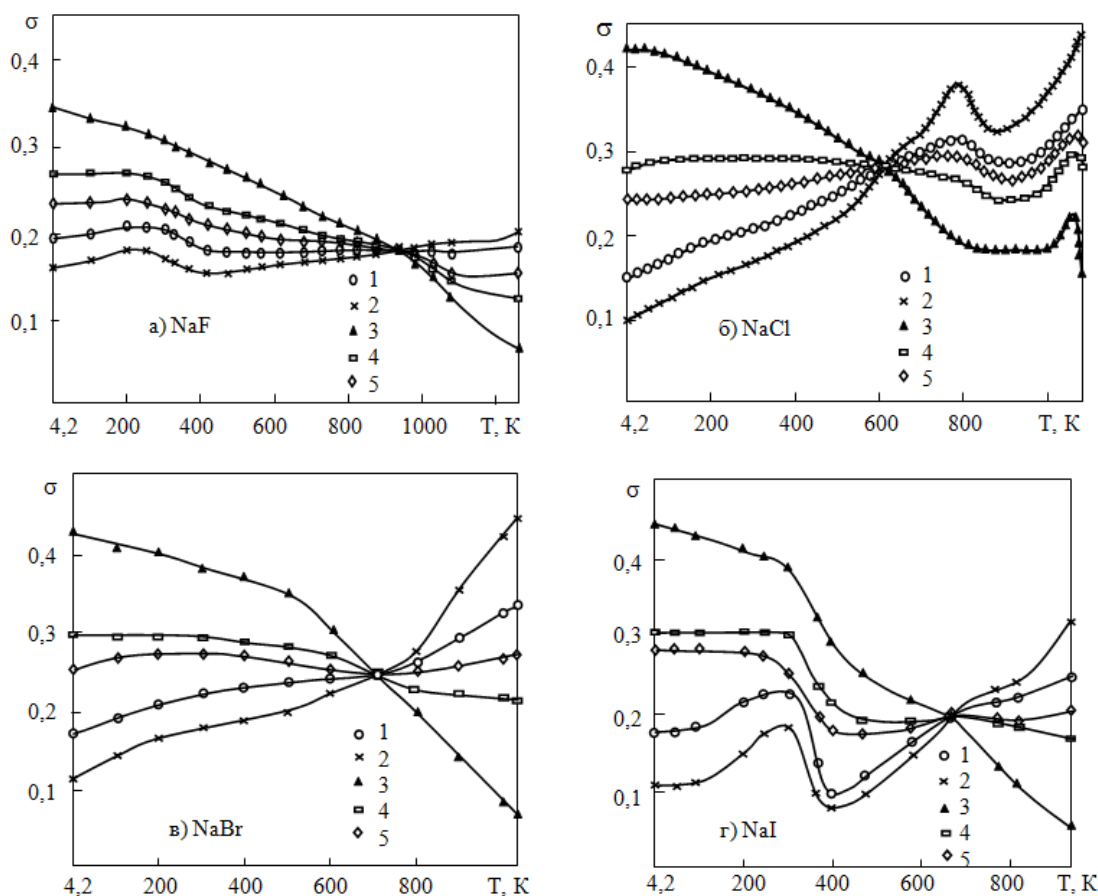


Рис. 3. Температурные изменения коэффициентов Пуассона кристалла NaX:
 1) $\sigma_{\langle 100 \rangle}$; 2) $\sigma_{\langle 110,001 \rangle}$; 3) $\sigma_{\langle 110,1T0 \rangle}$; 4) $\sigma_{\langle 111 \rangle}$; 5) σ (поликристалл)

Литература.

1. Акустические, упругие и неупругие свойства кристаллов галогенатов натрия: монография / В.Н. Беломестных, Э. Г. Соболева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 276 с.
2. Ангармоническое эффекты в твердых телах (акустические аспекты): монография / В.Н. Беломестных, Е. П. Теслева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 151 с.
3. Конек Д. А., Войцеховски К. В., Плещачевский Ю. М., Шилько С. В. Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона. (Обзор) // Механика композитных материалов и конструкций. – 2004. – Т. 10. – №1. – С. 35-69.
4. Светлов И. Л., Епишин А. И., Кривко А. И., Самойлов А. И., Одинцев И.Н., Андреев А.П. Анизотропия коэффициента Пуассона монокристаллов никелевого сплава // ДАН СССР. – 1988. – Т. 302. – №6. – С. 1372 – 1375.
5. Vaughman R. H., Shacklette J. M., Zakhidov A. A., Stafstrom S. Negative Poisson's ratio as a common feature of cubic metals // Nature. – 1998. – V. 392. – No.6674. – P. 362 – 365.
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.
7. Peresada G. L. On the calculation of elastic moduli of polycrystals systems from single crystal data // Phys. Status Solidi. – 1971. – V. A 4. – P. K 23 – K 27.
8. Александров К. С. К вычислению упругих констант квазиизотропных поликристаллических материалов // ДАН СССР. – 1967. – Т. 176. – №2. – С. 295 – 297.
9. Беломестных В. Н., Соболева Э. Г. Коэффициенты Пуассона щелочно-галогидных кристаллов. Ч.I. Галогениды натрия // Известия Томского политехнического университета. - 2012 - Т. 320 - №. 2 - С. 137-139.

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПЛЕНОК СО, ПОЛУЧЕННЫХ
МЕТОДОМ CVD ИЗ ДИИМИНАТА КОБАЛЬТА, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ
УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ**

*Р.Р. Хайруллин***, студент, С.И. Доровских***, инженер*

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

***ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

****ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск*

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел: 8-952-802-43-27

E-mail: hairullin@list.ru

Тонкие пленки кобальта, сплавов на кобальтовой основе, а также многослойные Co / X композиции, где X – другой металл или диэлектрик, являются предметом интенсивных научных исследований и вызывают большой интерес в связи с возможностью их применения в устройствах хранения данных и различных датчиках [1].

В настоящее время существует множество методов получения металлических пленок, среди которых выделяется метод химического осаждения из газовой фазы (CVD). Данный метод является перспективным для производства, так как позволяет получать пленки высокой чистоты, с высокой однородностью толщины и состава, минимальными повреждениями подложки, высокими скоростями осаждения и возможностью нанесения на изделия сложной формы [2].

Свойства пленок, получаемых методом CVD, существенно зависят от параметров осаждения, причем характер данной зависимости определяется как материалом пленок, так и типом предшественника (металлоорганического соединения, из которого получают пленки) [3]. Влияние условий CVD-осаждения на свойства пленок Co уже изучалось [4]. Однако практически отсутствуют исследования для пленок Co, полученных из диимината кобальта $\text{Co}(\text{N}'\text{acN}'\text{ac})_2$, применяемого в качестве предшественника. Дииминаты металлов обладают рядом преимуществ: отсутствием кислорода, высокой летучестью, стабильностью, чистотой разложения и практическим выходом [5].

Таким образом, для получения пленок Co методом CVD из $\text{Co}(\text{N}'\text{acN}'\text{ac})_2$ с требуемыми эксплуатационными характеристиками необходимо знать зависимость их структуры, фазового и химического состава от условий осаждения. В данной работе представлены результаты влияния температуры подложки и температуры испарителя на структурные параметры, морфологию поверхности, фазовый и элементный состав тонких пленок Co, полученных методом химического осаждения из газовой фазы.

Материалы и методика эксперимента

Тонкие пленки Co наносили методом CVD на подложки Si (100). Предшественником служил дииминат кобальта $\text{Co}(\text{N}'\text{acN}'\text{ac})_2$. Длительность осаждения всех исследованных образцов составляла 4 часа, в качестве газа-носителя использовали Ar (скорость подачи 1л/ч), а в качестве газа-реактанта - H_2 (скорость подачи 4 л/ч), давление в камере осаждения составляло 1 атмосферу. Были исследованы 2 партии образцов. В первой партии была зафиксирована температура испарителя, равная $T_{\text{исп}} = 120^\circ\text{C}$, при этом температура подложки варьировалась в пределах $T_{\text{подл}} = 310 \div 420^\circ\text{C}$. Во второй партии температура испарителя была увеличена и зафиксирована на 130°C , а температура подложки изменялась от 300 до 340°C .

Структурные исследования проводили на дифрактометре DRON-SEIFERT-RM4 (Cu, $\lambda = 1.54051 \text{ \AA}$). Химический состав металлических пленок определяли методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Морфологию поверхности металлических пленок исследовали с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) Solver HV и растрового электронного микроскопа (РЭМ) JEOL-JSM 6700 F. Все измерения выполняли в атмосферных условиях при комнатной температуре.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Согласно данным рентгеноструктурного анализа образцы пленок Co, осажденные при температуре испарителя $T_{\text{исп}} = 120^\circ\text{C}$ и при различных температурах подложки, характеризуются лишь одним дифракционным пиком, расположенным между $2\theta = 44,2 - 44,7^\circ$ (Рис. 1, а). Асимметричное уширение данного пика можно рассматривать как суперпозицию отдельных отражений, соответствующих α -Co и β -Co. Детальный анализ дифракционной картины показывает, что данный дифракционный пик включает в себя отражение от β -Co (111), имеющего ГЦК – решётку, на угле $2\theta = 44,3^\circ$, а также отражение от α -Co (002), характеризующегося ГПУ-решёткой, на угле $2\theta = 44,6^\circ$. Исходя из этого, трудно однозначно определить фазовый состав изучаемых пленок Co.

Как видно из рис. 1,а, интенсивность дифракционного пика на угле $2\theta = 44.2 - 44.7^\circ$ зависит от температуры подложки. Пленки Co, осажденные при $T_{\text{подл}} = 310^\circ\text{C}$, характеризуются отсутствием

отражения от фазы Co. Данный пик появляется лишь при повышении температуры подложки до $T_{\text{подл}} = 330^{\circ}\text{C}$. При последующем увеличении температуры осаждения он становится более интенсивным и достигает максимума при $T_{\text{подл}} = 350^{\circ}\text{C}$. Однако дальнейший рост температуры способствует уменьшению интенсивности отражения вплоть до его потери при $T_{\text{подл}} = 420^{\circ}\text{C}$.

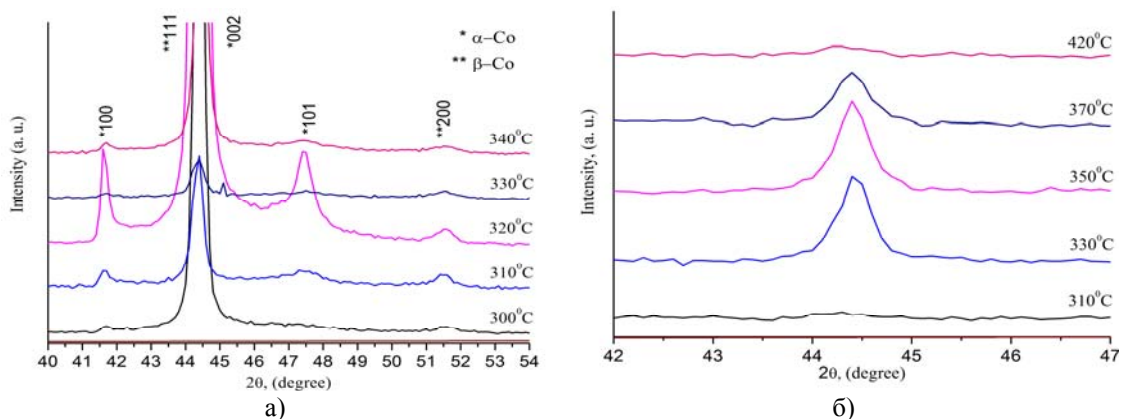


Рис. 1. Дифрактограммы образцов пленок Co, осажденных при различных температурах подложки и при $T_{\text{исп}} = 120$ (а) и 130°C (б)

Повышение температуры испарителя до $T_{\text{исп}} = 130^{\circ}\text{C}$ приводит к некоторым изменениям кристаллической текстуры пленок Co (Рис. 1, б). Дифракционная картина для образцов Co, осажденных при температурах $T_{\text{подл}} = 300 - 340^{\circ}\text{C}$, содержит дополнительные пики α -Co (100) ($2\theta = 41.7^{\circ}$), α -Co (101) ($2\theta = 47.6^{\circ}$) и β -Co (200) ($2\theta = 51.7^{\circ}$). Интенсивность данных дифракционных пиков также определяется температурой подложки. С увеличением $T_{\text{подл}}$ от 300 до 320°C интенсивность пиков повышается. Однако дальнейший рост температуры подложки до $T_{\text{подл}} = 330$ и 340°C приводит к постепенному их ослаблению. Стоит отметить, что пленки Co, полученные при температуре подложки $T_{\text{подл}} = 320^{\circ}\text{C}$, характеризуются наиболее ярко выраженной текстурой (максимальная высота дифракционных пиков), что говорит о высокой степени структурной упорядоченности данных пленок.

Размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) и микронапряжения в исследованных пленках Co представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что размер ОКР пленок, осажденных при $T_{\text{исп}} = 120^{\circ}\text{C}$, слабо зависит от температуры подложки в диапазоне температур от 300 до 350°C . Однако с увеличением температуры свыше $T_{\text{подл}} = 350^{\circ}\text{C}$ размер ОКР начинает уменьшаться. Аналогичный характер зависимости размеров ОКР от температуры подложки наблюдается для пленок, осажденных при $T_{\text{исп}} = 130^{\circ}\text{C}$. При этом сопоставление образцов из первой и второй партий позволяет сделать вывод, что при увеличении температуры испарителя от 120 до 130°C уменьшается температурный диапазон, при котором пленки характеризуются постоянным размером ОКР.

Микронапряжения в пленках Co, осажденных при $T_{\text{исп}} = 120^{\circ}\text{C}$, снижаются с ростом температуры подложки, в то время как в пленках, полученных при $T_{\text{исп}} = 130^{\circ}\text{C}$, они остаются постоянными в пределах погрешности измерений (Таблица 1). Стоит отметить, что увеличение температуры испарителя от 120 до 130°C приводит к трехкратному уменьшению микронапряжений.

Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии установлено, что температура подложки существенно влияет на элементный состав пленок Co. Как видно из таблицы 1, наряду с атомами Co в исследованных пленках присутствуют атомы углерода, кислорода и азота. В случае $T_{\text{исп}} = 120^{\circ}\text{C}$ увеличение температуры подложки от 310 до 420°C приводит к двукратному уменьшению содержания кобальта от 91,4 до 44,2% и к значительному повышению содержания углерода. Данное изменение химического состава объясняет исчезновение дифракционного пика на угле $2\theta = 44.2 - 44.7^{\circ}$ в пленках Co, нанесенных при $T_{\text{подл}} = 420^{\circ}\text{C}$.

Однако в случае $T_{\text{исп}} = 130^{\circ}\text{C}$ степень влияния температуры подложки на элементный состав пленок уменьшается. Так, увеличение температуры подложки от 300 до 330°C сопровождается ростом содержания кобальта от 84.8 до 93.5%. Дальнейшее повышение температуры подложки до 340°C приводит к обратному снижению содержания кобальта в пленках до 90,9%.

Таблица 1

Элементный состав, размер ОКР и микронапряжения σ пленок Co, полученных при различных температурах испарителя $T_{\text{исп}}$ и подложки $T_{\text{подл}}$.

$T_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{подл}}, ^\circ\text{C}$	Элементный состав	ОКР, нм	σ , ГПа
Первая партия				
120	310	Co 91.4%, C 8.3 %, O 0.3%	17	1,7
120	330	Co 89.9%, C 9.5%, O 0.6%	15	1,4
120	350	Co 84.1%, C 11.6%, O 4.3%	19	1,2
120	370	Co 80.0%, C 18.9%, O 1.1%	13	1,4
120	420	Co 44.2%, C 55.7%, O 0.1%	11	0,8
Вторая партия				
130	300	Co 84.8%, C 14.2%, O 0.1%, N 0.9 %	35	0,4
130	310	Co 86.5%, C 12. 6%, O 0.2%, N 0.7 %	26	0,5
130	320	Co 92.3%, C 7. 2%, O 0.5%	33	0,2
130	330	Co 93.5%, C 6.0%, O 0.5%	26	0,4
130	340	Co 90.9%, C 8.8%, O 0.3%	20	0,3

Согласно исследованиям с помощью РЭМ и АСМ выявлено влияние температур подложки и испарителя на морфологию поверхности пленок Co. Пленки Co, полученные при $T_{\text{исп}} = 120^\circ\text{C}$ и $T_{\text{подл}} = 310 - 350^\circ\text{C}$, характеризуются мелкозернистым рельефом (Рис. 2, а, б). Однако дальнейшее повышение температуры подложки до $T_{\text{подл}} = 370^\circ\text{C}$ приводит к возникновению «сетчатой» структуры на поверхности исследуемых пленок. Как видно из рис. 2 (в, г), наличие зеренной структуры у пленок Co менее выражено. Увеличение температуры подложки до $T_{\text{подл}} = 420^\circ\text{C}$ способствует уменьшению, как толщины «сетки», так и среднего размера зерна данных пленок.

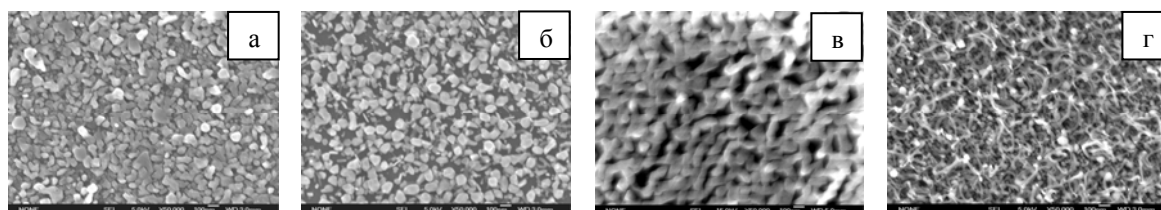


Рис. 2. РЭМ-изображения морфологии поверхности пленок Co, полученных при температуре испарителя $T_{\text{исп}} = 120^\circ\text{C}$ и температуре подложки $T_{\text{подл}} = 310$ (а), 350 (б), 370 (в) и 420°C (г)

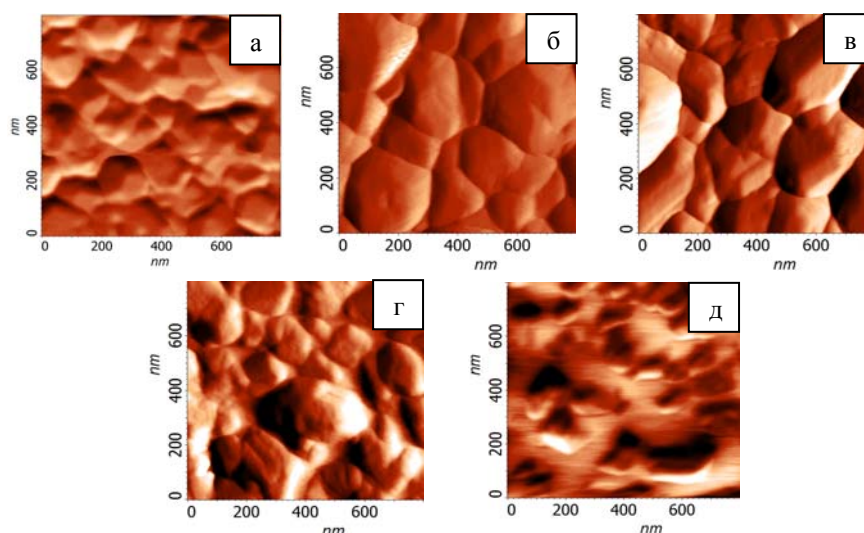


Рис. 3. АСМ-изображения морфологии поверхности пленок Co, полученных при температуре испарителя $T_{\text{исп}} = 130^\circ\text{C}$ и температуре подложки $T_{\text{подл}} = 300$ (а), 310 (б), 320 (в), 330 (г) и 340°C (д)

Пленки Co, осажденные при $T_{исп} = 120^{\circ}C$, также характеризуются мелкозернистым рельефом (Рис. 3). При этом по-прежнему наблюдаются развитие «сетчатой» структуры и уменьшение среднего размера зерна пленок с ростом температуры подложки. Однако температура подложки, соответствующая появлению «сетки» на поверхности пленок, опустилась до $T_{подл} = 340^{\circ}C$ (рис. 3, д). Кроме того, средний размер зерна пленок Co начинает уменьшаться уже при $T_{подл} = 330^{\circ}C$. Стоит отметить, что средний размер зерна пленок Co, осажденных при $T_{исп} = 130^{\circ}C$ (рис. 3) почти в два раза больше, чем у пленок, полученных при $T_{исп} = 120^{\circ}C$ (рис. 2).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что пленки Co, полученные методом химического осаждения из газовой фазы, содержат кристаллы α -Co и β -Co. Варьирование температуры подложки и температуры испарителя позволяет в широких пределах изменять микроструктуру, текстуру и химический состав пленок Co. Увеличение температуры подложки приводит к снижению содержания кобальта, уменьшению размеров областей когерентного рассеяния и величины микронапряжений. Кроме того, рост температуры подложки способствует возникновению «сетчатого» рельефа на поверхности пленок и уменьшению среднего размера зерна. С увеличением температуры испарителя от 120 до $130^{\circ}C$ снижается степень влияния температуры подложки на элементный состав и величину микронапряжений пленок Co. Однако при этом изменяется текстура пленок: появляются кристаллы новой ориентации, а также сужается интервал температур подложки, в котором исследуемые пленки характеризуются наличием зёрненной структуры.

Литература.

1. Chioncel M. F, Haycock P. W. Cobalt thin films deposited by photoassisted MOCVD exhibiting inverted magnetic hysteresis // Chemical Vapor Deposition. - 2006. - № 12. - P. 670–678.
2. Chioncel M.F, Nagaraja H. S. Domain structures of MOCVD cobalt thin films // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. - 2007. - № 313. – P. 135–141.
3. Сыркин В. Г. CVD-метод: химическое парофазное осаждение. М.: Наука, 2000. – 496 с.
4. Paranjape, M. A., Mane, A. U., Raychaudhuri, A. K. Metal-organic chemical vapour deposition of thin films of cobalt on different substrates: study of microstructure // Thin Solid Films. - 2002. - № 413. – P. 8-15.
5. Morozova, N. B.; Stabnikov, P. A.; Baidina I. A. Structure and thermal properties of volatile copper(II) complexes with β -diimine derivatives of acetylacetone and the structure of 2-(methylamino)-4-(methylimino)-pentene-2 crystals // Journal of Structural Chemistry. – 2007. - № 48. – P. 889-898.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СИНТЕЗИРОВАННЫЕ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НАНОЧАСТИЦЫ Cu

И.В. Чепкасов, аспирант, Ю.Я. Гафнер, д.ф.-м.н., проф.

Хакасский государственный университет

655017, г. Абакан ул. Ленина, 90, тел. (3902) 22-21-63

E-mail: ilya_chepkasov@mail.ru

Изучение отдельных наночастиц и наноструктурного состояния в целом является в настоящее время одной из наиболее интенсивно развивающихся областей исследований в физике, химии и технике. Однако целенаправленное применение кластеров и наночастиц в различных областях нанотехнологий возможно только на основе точного определения их физических, химических и термодинамических особенностей поведения. Из всего спектра, используемых сейчас металлических наночастиц, особое место занимают кластеры меди. Данные частицы обладают многими уникальными свойствами и относительно недороги в производстве. По своим электропроводящим свойствам медные частицы нанометрового размера могут конкурировать даже с серебром. Также огромный спектр применения наночастиц меди имеется в металлургических производствах, к примеру, уменьшение размеров частиц с 10 мкм до 10 нм в порошковой металлургии дает повышение прочности изделий в 30 раз, а добавление нанодисперстных частиц легирующего порошка меди позволяет существенно улучшить пластические характеристики порошковой стали.

Получение наночастиц меди и других металлов в довольно больших количествах с реализацией необходимых, в зависимости от сферы применения, свойств наноразмерных кластеров, предъявляет очень серьезные требования к методам их получения. Одним из перспективных способов синте-

за ультра - и нанодисперсных частиц является метод испарения и конденсации металлов в атмосфере инертного газа. Простая масштабируемость к большим промышленным нормам и высокая чистота материала с необходимыми свойствами (электропроводность, прочность, пластичность) выгодно отличают частицы, синтезированные газозафазным способом, от частиц, полученных другими способами, например механическим размолотом.

Однако метод газозафазного синтеза имеет и существенные недостатки, такие как неоднородность внутренней структуры и внешней формы получаемых наночастиц. Поэтому, в зависимости от параметров процесса испарения-конденсации, в системе может сформироваться до 90% частиц с явно выраженной несферической формой и различным внутренним строением. Но полидисперсность получаемых частиц не всегда негативно сказывается на дальнейшем технологическом применении данного материала. В последнее время подобные свободные частицы эффективно применяются в различных химических реакциях ввиду их высокой каталитической активности. К примеру, в работе [1] было показано, что по сравнению с частицами, расположенными на различных подложках, свободные, червеобразные агломераты никеля обладают более значительной величиной поверхности, что увеличивает их каталитическую активность почти в 50 раз.

На наш взгляд основной проблемой масштабного применения металлических частиц, синтезированных из газовой фазы в высокоточных технологиях, является, как уже упоминалось выше, большой процент кластеров с неидеальной структурой и формой. Для решения данной проблемы в экспериментально-промышленных установках по синтезу ультрадисперсных порошков металлов может широко использоваться метод термической обработки получаемых частиц, как заключительный этап синтеза из газовой фазы, следующий за коалесценцией и агломерацией.

В данной части представляемой работы приведено краткое описание базовых положений проведенного нами МД моделирования. Любая из имитационных методик в первую очередь не может обойтись без использования какого-либо потенциала межатомного взаимодействия. Выбор потенциала определяется характером поставленной задачи, временной шкалой, требуемой для моделирования и уровнем достоверности полученных результатов. Поэтому после анализа различных видов представлений потенциальной энергии межатомного взаимодействия имитация процессов термической обработки нанокластеров меди синтезированных из газовой среды была проведена с использованием хорошо зарекомендовавших себя модифицированных потенциалов сильной связи (*tight-binding*), изложенных в [2].

Для анализа процессов термического воздействия была использована компьютерная программа MDNTP, разработанная Dr. Ralf Meyer, Universität Duisburg Germany. Расчеты проводились на сервере SunFire 4150 на базе двух 4-х ядерных 64 – разрядных процессоров Intel Xeon с тактовой частотой 3,2 ГГц и объемом оперативной памяти 8 Гб в операционной среде Linux SuSE версии 11.2.

Частицы меди, взятые для определения наиболее эффективных постконденсационных методик термической обработки, на начальном этапе моделирования были синтезированы из газовой фазы. Начальной точкой процесса конденсации была конфигурация, содержащая 85000 атомов Cu равномерно распределенных в пространстве объемом $V = 42600 \text{ нм}^3$ с использованием периодических граничных условий. Процесс конденсации атомов меди из газовой фазы был осуществлен с тремя различными скоростями охлаждения $U = 0,005 \text{ пс}^{-1}$, $U = 0,025 \text{ пс}^{-1}$ и $U = 0,05 \text{ пс}^{-1}$ и двумя конечными температурами $T_f = 373 \text{ К}$ и $T_f = 77 \text{ К}$.

Другим важным моментом моделирования является взаимодействие системы с тепловым резервуаром. Для метода молекулярной динамики естественным является микроканонический ансамбль, для которого постоянной величиной является энергия. Однако в

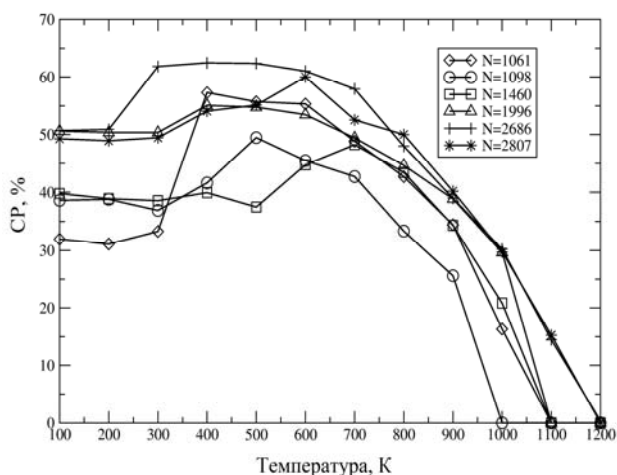


Рис. 1. Зависимость доли числа атомов с локальной плотной упаковкой CP (в %) от общего числа атомов в кластере N как функция температуры для кластеров размера от 1061 до 2807 атомов

большинстве случаев термодинамические свойства, рассчитанные при условии микроканонического ансамбля, не отражают реальность. При моделировании больший интерес представляет система не с фиксированным значением полной энергии E , а с постоянным значением температуры T , то есть уже канонический ансамбль. В такой ситуации система незамкнута, и ее можно представить находящейся в контакте с тепловым резервуаром. Для подобных целей было предложен и развит целый ряд специальных методик моделирования, и, в частности, термостат Нозе [3] или его модификация термостат Нозе-Гувера (*Nosé-Hoover*) [4].

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. На каждой температуре нагревания частицы выдерживались от 3 до 4 нс, в зависимости от размера кластера (для Cu_{1061} , Cu_{1098} , Cu_{1460} $t = 3$ нс, для Cu_{1996} , Cu_{2686} , Cu_{2807} $t = 4$ нс). 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 (СР) возрастает до 55 – 60%. Разрушение дальнего порядка начинается примерно при $T = 600$ К, а при $T = 1100$ К наблюдается полное расплавление частицы (рис. 1).

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 (рис.1).

Относительно небольшие максимальные значения доли числа атомов с локальной плотной упаковкой в исследуемых частицах (не более 65%), связаны с тем, что поверхностные атомы, имеющие координационное число менее 12, не учитывались при подсчете и относились к атомам с разупорядоченной локальной структурой. Доля числа поверхностных атомов в кластере идеальной сферической формы определяется по формуле $N_s/N = 4 N^{-1/3}$ (N – число атомов в частице, N_s – число поверхностных атомов) и может достигать около 40 % для кластера, состоящего из 1061 атомов и около 29 % для кластера, состоящего из 2807 атомов [5].

Оставшуюся долю атомов с разупорядоченной локальной структурой составляют атомы, имеющие 12 ближайших соседей, но не относящиеся к какой либо определенной локальной кристаллической структуре. С учетом этого можно сделать вывод, что при условии имитируемого термического воздействия происходит практически полное упорядочение внутренней структуры синтезированных частиц.

Для объяснения подобного поведения (рис. 1), более подробно рассмотрим процессы атомной перестройки кластеров при условии термического воздействия. На рис. 2 представлены «мгновенные снимки» эволюции кластера Cu_{1460} при кратковременном термическом воздействии. В качестве примера частицы, с отсутствием ярко выраженного плотноупакованного ядра, был выбран кластер меди с размером в 1460 атомов. После завершения процесса синтеза из газовой фазы данный кластер имел четко выраженную цепочечную (червеобразную) форму, часто наблюдаемую при реальных экспериментах по газозафазному син-

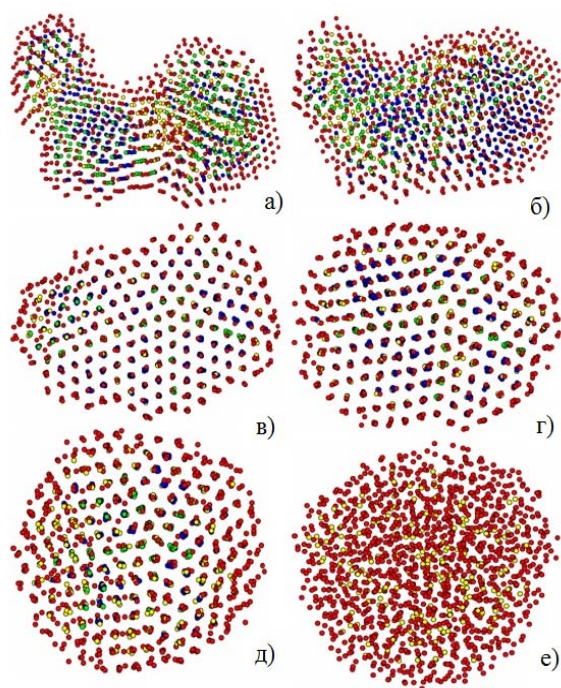


Рис. 2. Эволюция кластера Cu_{1460} в зависимости от температуры нагрева: а) $T = 100$ К, б) $T = 500$ К, в) $T = 700$ К, г) $T = 900$ К, д) $T = 1000$ К, е) $T = 1100$ К

тезу металлических наночастиц. Такая внешняя форма является прямым следствием процессов агломерации, происходящих при низких температурах окружающей среды в камерах конденсации наночастиц. В нашем случае агломерировало четыре первичных кластера с различным типом кристаллической организации атомов.

Начиная с температуры $T = 100$ К и до $T = 400$ К практически никаких изменений в кластере 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, отчетливо наблюдаемое на рис. 1. 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 (рис. 2 б). При $T = 700$ К кластер принимает уже сферичную форму с явно выраженной общей декаэдрической структурой (рис. 2 в), сохраняемой вплоть до температуры плавления.

Для всех шести исследуемых частиц, представленных на рис. 1, 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 частицы 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, а может находиться на промежуточном этапе перестройки, и представлять собой эллипсоид.

Подобные результаты изменения внутренней структуры и внешней формы червеобразных кластеров наблюдаются и в экспериментальных исследованиях поэтапной термической обработки наночастиц переходных металлов. На рис. 3 представлены электронно-микроскопические изображения наночастицы золота синтезированной из высокотемпературной газовой фазы и подвергнутой дальнейшему термическому воздействию. Отчетливо видно, что начальная цепочечная форма частицы с повышением температуры всего на несколько сотен градусов трансформируется в эллипсоидную, и далее в идеальную сферичную [6].

Однако не во всех исследуемых частицах процесс термического воздействия привел к формированию в кластере единой формы и структуры. На рис. 4 представлен кластер 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, разделенным аморфной прослойкой. 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 (рис. 4 г). При дальнейшем повышении температуры происходит полное расплавление частицы без объединения взаимодействующих сегментов (рис. 4 д и е).

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 в камерах конденсации. Вследствие чего 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

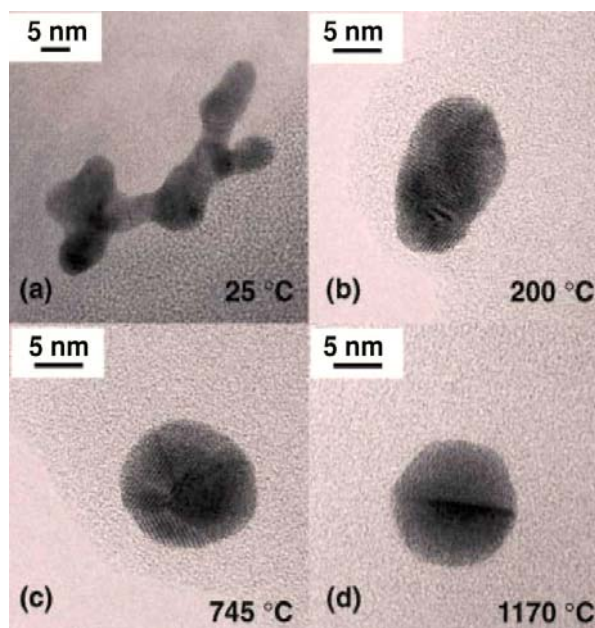


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение термической эволюции наночастицы золота сконденсированной из газовой фазы [6]

такое построение своих атомов с одновременным превращением своей формы в максимально возможную сферу.

Данное предположение подтверждается при детальном анализе структур первичных частиц. На рис. 4 а) представлено изображение первичного кластера Cu_{1771} при температуре $T = 77$ К. Отчетливо видно, что изначальный кластер Cu_{1771} представлял собой частицу, образованную при соединении первичных небольших частиц, с явно выраженными икосаэдрическими структурами. Конкуренция данных локальных координаций в кластере и приводит в дальнейшем к формированию аморфоподобной прослойки между частями частицы.

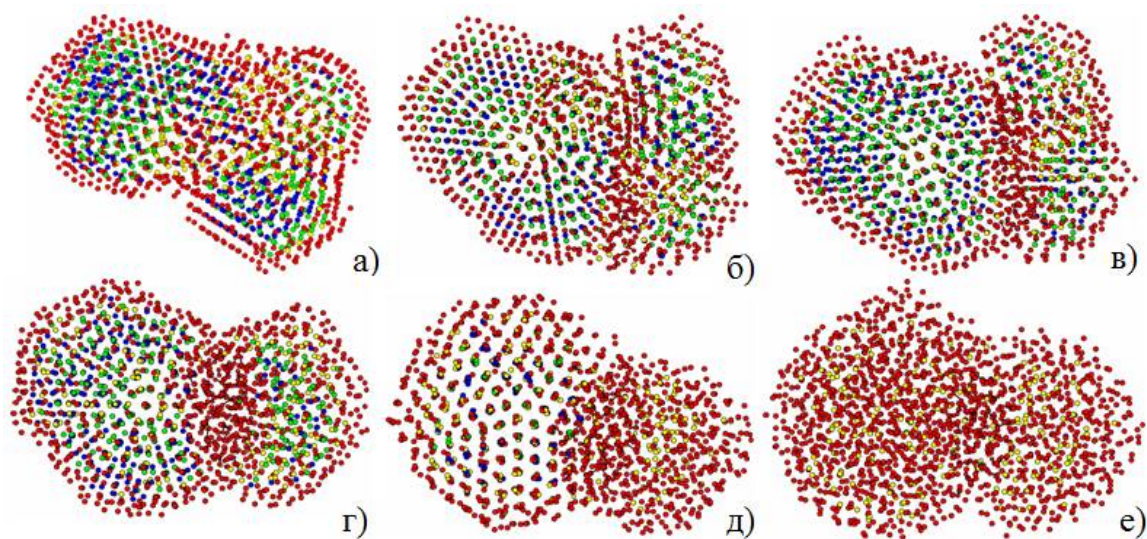


Рис. 4. Эволюция кластера Cu_{1771} в зависимости от температуры нагрева: а) $T = 77$ К, б) $T = 100$ К, в) $T = 500$ К, г) $T = 800$ К, д) $T = 1000$ К, е) $T = 1200$ К

Таким образом, в результате проведенного моделирования ступенчатого 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 единой формы и структуры, а представляли собой конкурирующие части одной частицы с сопоставимыми энергиями поверхностей и химических потенциалов. В процессе структурирования каждая часть кластера стремилась уменьшить свою поверхностную энергию, приводя внешнюю форму в сферичную, с одновременным уменьшением зоны соприкосновения частиц [7].

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. Nosé S. A unified formulation of the constant temperature molecular dynamics methods. // J. Phys. Chem. 1984. V. 81. P. 511.
4. Hoover W.G. Canonic dynamics: Equilibrium phase-space distribution. // Phys. Rev 1985. V. 31.P. 1965. Demtröder W. Molekülphysik: Theoretische Grundlager und experimentelle Methodier. München: Olderboung, 2000. – 460 p.
5. Martin H. Magnusson, Knut Deppert1, 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 синтезированных из газовой фазы нанокластеров меди и никеля. // ЖЭТФ. 2010. Т. 138. №4. С. 687.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НА ФОРМУ СОЗДАВАЕМЫХ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ

А.М. Чуть, студент гр. ОД-101

*научный руководитель: Маркидонов А.В., к.ф.-м.н., доцент каф. АиАП
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева*

Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке

654000, г. Новокузнецк, ул. Орджоникидзе, 7

E-mail: markidonov_artem@mail.ru

Наночастицы металлов обладают специфическими свойствами, которые обусловлены наличием большого количества поверхностных атомов. Например, доля атомов, оказавшихся на поверхности частиц никеля со средним размером 5 нм, достигает 15%, в то время как для монокристалла Ni размером 1 см — порядка $10^{-6}\%$ [1]. Из-за нескомпенсированных связей атомов, расположенных на поверхности наночастицы, увеличивается способность адсорбции материала, меняется температура плавления и т.д.

Специфические свойства металлов в ультрадисперсном состоянии открывают широкие возможности для их применения в технике, медицине и сельском хозяйстве. Так, например, наночастицы меди используются как катализатор в процессе получения каучука, они улучшают эксплуатационные свойства технических масел, имеют антибактериальные свойства, в результате чего широко применяются при дезинфекции помещений и инструментов, при упаковке и хранении пищевых продуктов [2].

Одним из наиболее перспективных методов получения наночастиц многих цветных металлов является метод конденсации из высокотемпературной газовой фазы [3]. Отсутствие дефектов выгодно отличает наночастицы, получаемые данным методом, от порошков, изготавливаемых, например, методом механического разлома. Несмотря на это, проблема получения наночастиц с заданным размером, структурой и физическими свойствами до конца не разрешена.

Целью настоящей работы является определение влияния скорости охлаждения газовой фазы на форму наночастиц меди.

Объект исследования в настоящей работе отличает малый размер, что затрудняет прямые наблюдения. Поэтому наиболее рациональным видится использование метода 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 [4]. В качестве потенциальной функции межатомного взаимодействия использовался потенциал Джонсона, рассчитанный в рамках метода погруженного атома. Шаг интегрирования равнялся 5 фс.

Температура расчетной ячейки задавалась путем присвоения атомам случайных скоростей в соответствии с распределением Максвелла-Больцмана для указанной температуры. Моделирование проводилось при постоянной температуре (канонический ансамбль). Для сохранения температуры расчетной ячейки использовался термостат Андерсена.

Для создания наночастицы в кристаллической структуре, моделирующей кристаллит меди, задавалась сфера с некоторым радиусом. Затем центр сферы совмещался с одним из узлов решетки, и удалялись все атомы вне этой сферы. После удаления атомов осуществлялась структурная релаксация расчетной ячейки до прихода системы в состояние с минимальной энергией. В настоящей работе использовалась наночастица, состоящая из 456 атомов.

Для определения температуры фазовых переходов можно построить калорическую кривую $U(T)$. Точки разрыва данной кривой соответствуют фазовым переходам. Так на рис. 1 представлена данная кривая.

Как следует из рисунка, температура плавления наночастицы составляет около 970 К, в то время как температура плавления массивного образца меди – 1356 К. Разница между температурой плавления и кристаллизации в нашем случае составляет 200 К.

Для исследования процессы конденсации наночастица выдерживалась при температуре 2900 К (температура кипения меди) в течении 100 000 шагов компьютерного эксперимента, а затем температура постепенно снижалась до 77 К. Данная температура была выбрана в связи с тем, что на промышленных установках по получению нанопорошков в качестве охлаждающей жидкости используют жидкий азот [3].

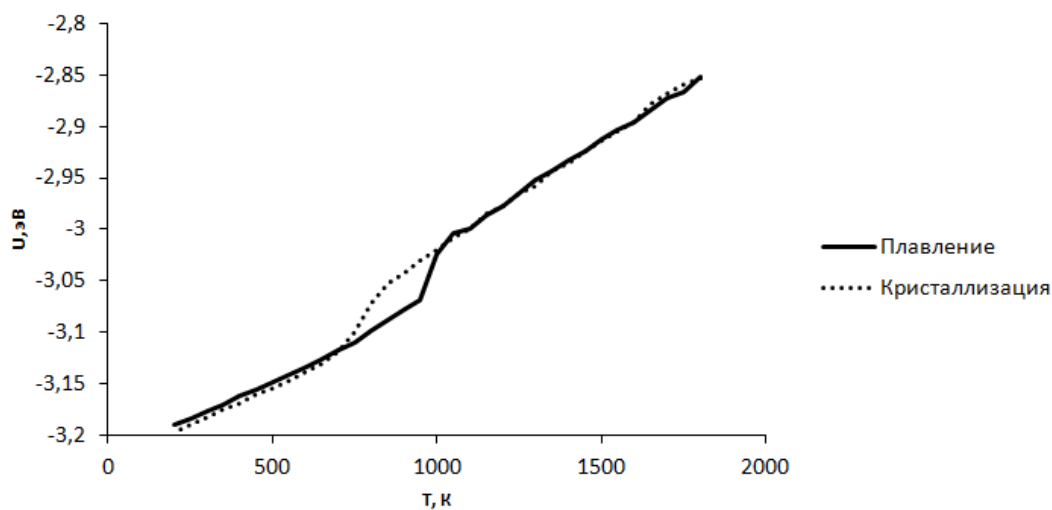


Рис. 1. Зависимость потенциальной энергии наночастицы Cu_{456} от температуры при процессах плавления и кристаллизации

На рис. 2 представлены результаты компьютерного эксперимента. Для большей наглядности при построении рисунка использовался визуализатор распределения потенциальной энергии. Так, атомы, энергия которых выше, окрашиваются в более светлый цвет, а у которых ниже — в темный.

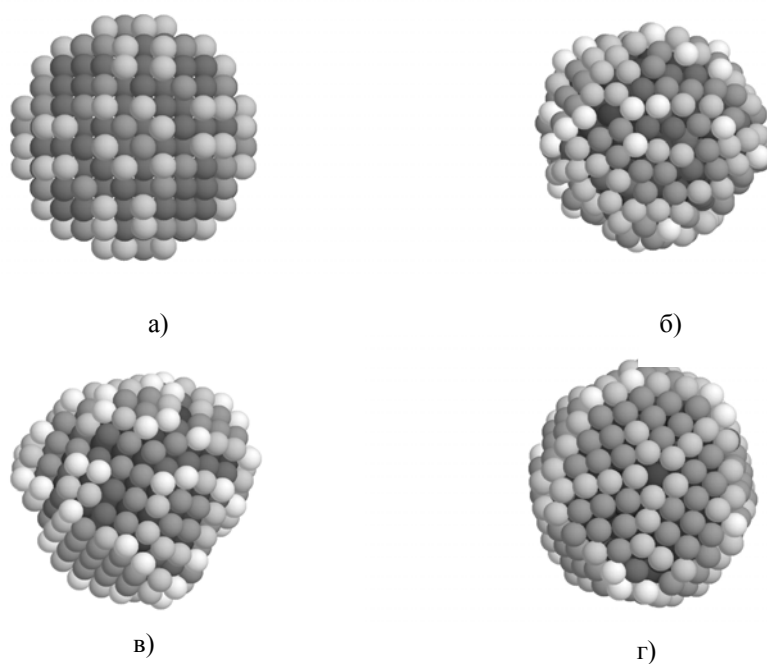


Рис. 2. Наночастица меди в начале эксперимента (а) и наночастицы, получаемые в результате конденсации газовой фазы при скорости охлаждения 0,02 (б), 0,01 (в) и 0,005 (г) фс^{-1}

Как видно из рисунка, при скорости охлаждения 0,02 фс^{-1} наночастица имеет неупорядоченную структуру, при скорости 0,01 фс^{-1} — формируются фрагменты кристаллографических плоскостей, а при скорости 0,005 фс^{-1} — образуется почти идеальная наночастица сферической формы.

Литература.

1. Лопатыко К.Г., Афтандиянц Е.Г., Зауличный Я.В., Карпец М.В. Получение и применение наночастиц, содержащих медь и серебро //Труды института проблем материаловедения им. И.Н.Францевича. 2010. №1. С.232 - 243.
2. Каплуненко В.Г., Косинов Н.В., Бовсуновский А.Н., Черный С.А. Нанотехнологии в сельском хозяйстве // Зерно. 2008. №4 [Electronic resource]. Mode of access : <http://www.zerno-ua.com/?p=2025>.
3. Гафнер Ю.Я., Чепкасов И.В. Компьютерное моделирование процессов образования наночастиц меди при конденсации из газовой фазы // Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC – 2012». Москва, 2012. Ч.1. С.37 - 40.
4. XMD – Molecular Dynamics for Metals and Ceramics // [Electronic resource]. Mode of access: <http://xmd.sourceforge.net/about.html>.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЫ В СПЛАВЕ СтЗ

*А.С. Богданов, магистрант, инженер, *Б.Ф. Демьянов, д.ф.-м.н., профессор*

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, г. Черноголовка
132432, Московская обл., г. Черноголовка ул. Академика Осипьяна, 8, тел. (49652)-46-3-89*

**Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул*

E-mail: alexsandr-bogdanov@mail.ru

Одним из основных структурных элементов металлических материалов, имеющих поликристаллическое строение, являются границы зерен (ГЗ). Границы зерен играют большую роль в управлении свойствами материалов, прежде всего это связано с существенным влиянием ГЗ на многие определяющие свойства поликристаллов (предел текучести, вязкость, пластичность, рекристаллизация, диффузия, ползучесть и др.).

Наиболее важной характеристикой зернограницного ансамбля является зависимость энергии границ зерен от угла разориентации зерен $E = E(\theta)$. ГЗ в поликристалле образует систему внутренних поверхностей, связанную через тройные стыки. Исследование вариаций углов в тройных стыках может дать информацию о диапазоне зернограницной энергии в поликристалле [1,2].

Целью данной работы является исследование микроструктуры поликристаллического сплава СтЗ и определение межфазной энергии ГЗ для ферритной фазы.

Тройной стык зерен представляет собой линейный дефект, вдоль которого сопрягаются три различно ориентированных зерна или три зернограницных поверхности. Если энергия всех ГЗ имеет одинаковую величину, то углы в тройном стыке равны 120° . Если энергии ГЗ имеют различную величину, то и величина углов будет различна.

Существуют два основных экспериментальных метода определения абсолютных значений энергии границ зерен: метод Херринга (по структурно-энергетическим особенностям границ зерен, сходящихся в тройном стыке) и метод Маллинза (по двугранному углу, образованному склонами канавки термического травления границы) [3]. Эти методы аналогичны, так как основаны на исследовании равновесия системы трех границ раздела [4,5].

Использование метода Херринга для измерения энергии ГЗ представляет трудную задачу. В общем случае необходимо знать значения энергии двух границ в стыке, чтобы вычислить энергию третьей ГЗ.

Сплав СтЗ относится к ферритному классу с небольшим содержанием углерода (до 0,22%). Основными фазами этой стали являются феррит и перлит. Феррит – это α -железо с содержанием углерода менее 0,006% при комнатной температуре. Феррит имеет ОЦК решетку, его свойства близки к свойствам чистого железа. Углерод с железом образуют твердый раствор внедрения. Перлит – это эвтектиод системы Fe-Fe₃C. Перлит образуется при температуре 727 °С из аустенита – высокотемпературной фазы Fe с ГЦК решеткой [6].

Структура перлита представляет собой параллельные пластинки цементита Fe₃C и феррита (рис. 1а-б).

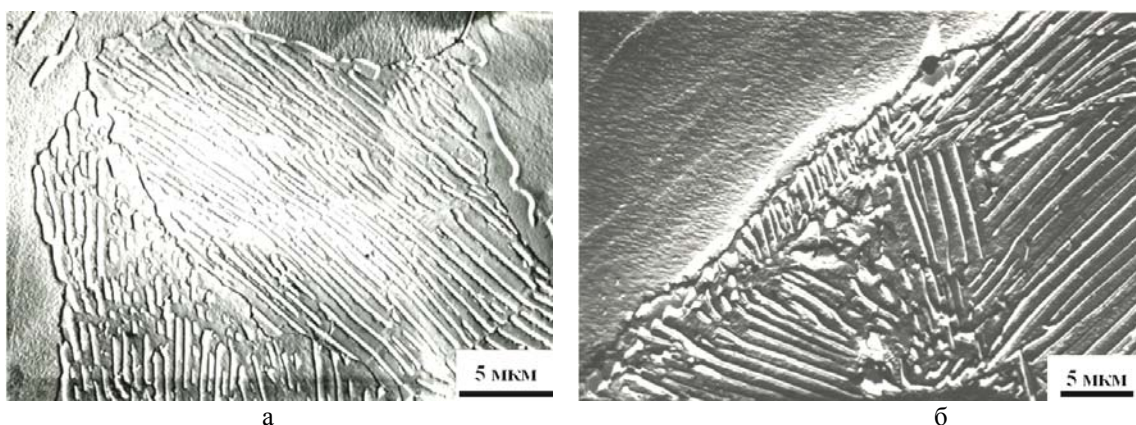


Рис. 1 а-б. Микроструктура перлита образца Ст3, полученная на электронном микроскопе

Концентрация углерода в перлите составляет 0,8%, в основном он содержится в пластинках Fe_3C .

На оптических микрофотографиях фаза перлита выглядит как зерна черного цвета. Перлит более легкоплавкий по сравнению с ферритом. Феррит кристаллизуется при температурах 900-800 °С, а перлит при температуре эвтектоидного превращения 727 °С.

В результате перлит оттесняется в области межзеренных промежутков ферритной фазы. Поэтому контакт ферритных зерен с перлитом напоминает канавки травления. Измерение межфазной энергии в тройном стыке, одним из зерен которого является перлит, может быть проведено по методу Маллинза.

Экспериментальные методы определения энергии ГЗ, такие как тройной стык и канавки травления дают лишь приближенные значения зернограничной энергии. К тому же эти методы весьма несовершенны. Например, для определения энергии в тройном стыке границ необходимо знать энергию хотя бы одной из них. Определение энергии по канавкам травления требует тщательного определения угла канавки, что само по себе достаточно сложно.

На рисунке 2 показана конфигурация соответствующего тройного стыка, где встречаются два зерна одной фазы и одно – другой.

Предположим, что в межфазном стыке трех зерен, границы обладают одинаковой энергией и являются границами общего типа $E = E_{пф}$ (энергия межфазной границы перлит-феррит). В соответствии со схемой (рис. 2) можем записать условие равновесия тройного стыка:

$$E_{ГЗ} = 2E_{пф} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad (1)$$

$$E_{пф} = \frac{E_{ГЗ}}{2 \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}. \quad (2)$$

Примем среднее значение энергии $E_{ГЗ} = 700 \text{ мДж/м}^2$ [7].

Значения межфазной энергии (рис. 3 а-е) вычислены по формуле (2) и приведены в таблице 1.

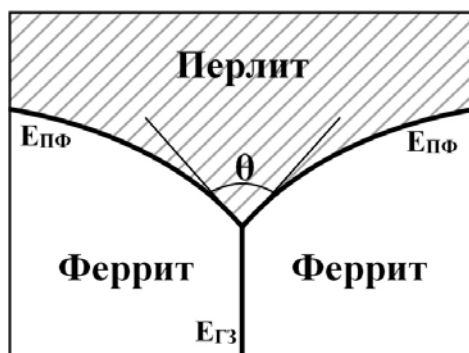


Рис. 2. Стык зерна перлит и двух зерен феррита

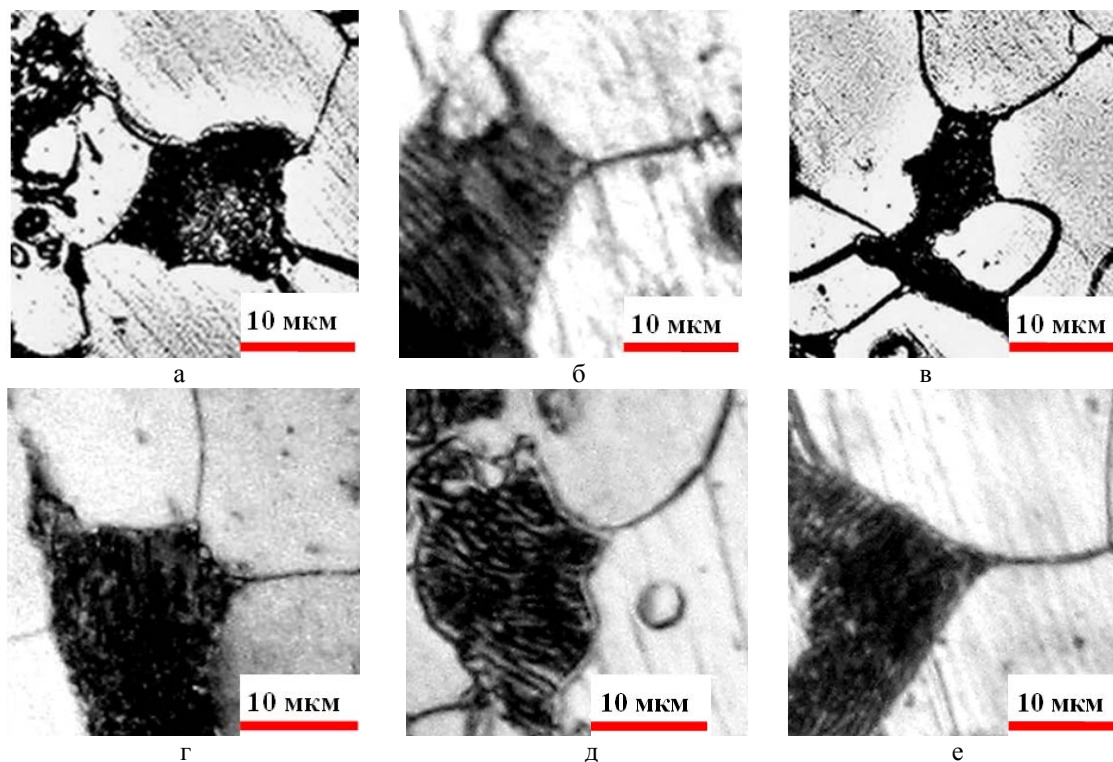


Рис. 3 а-е. Микроструктура межфазных границ образца Ст3

Таблица 1

Значения межфазной энергии Ст3

№ рисунка	θ , град.	$E_{\text{пф}}$, мДж/м ²
3 а	55	395
3 б	70	427
3 в	85	475
3 г	60	404
3 д	68	422
3 е	65	415

Межфазная граница имеет энергию для измеренных стыков в диапазоне от 395 мДж/м² до 475 мДж/м². Данная величина (435 мДж/м² – среднее значение межфазной энергии) существенно меньше энергии ГЗ в феррите (700 мДж/м²). Это может быть объяснено влиянием углерода. Как известно границы раздела обладают свободным объемом. Заполнение свободного объема атомами малого размера (атомами углерода) происходит более эффективно, что и приводит к релаксации структуры межфазной границы к понижению ее энергии.

Известно, что границы зерен имеют различную энергию, величина которой напрямую влияет на угловые соотношения между границами зерен, образующими тройной стык. Поэтому измерения углов в тройном стыке могут позволить оценить вариацию энергии границ зерен в поликристалле [8,9].

В настоящей работе были выбраны 150 тройных стыков, содержащих перлитную фазу, и измерены углы θ_1 , θ_2 , θ_3 по следующей схеме (рис. 4).

По статистическим данным углов в тройных стыках была построена гистограмма угловых соотношений для перлита (рис. 5).

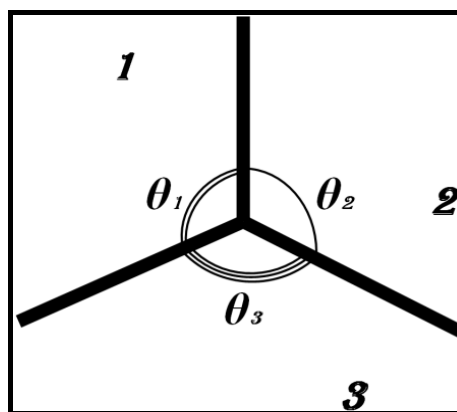


Рис. 4. Схема тройного стыка трех зерен

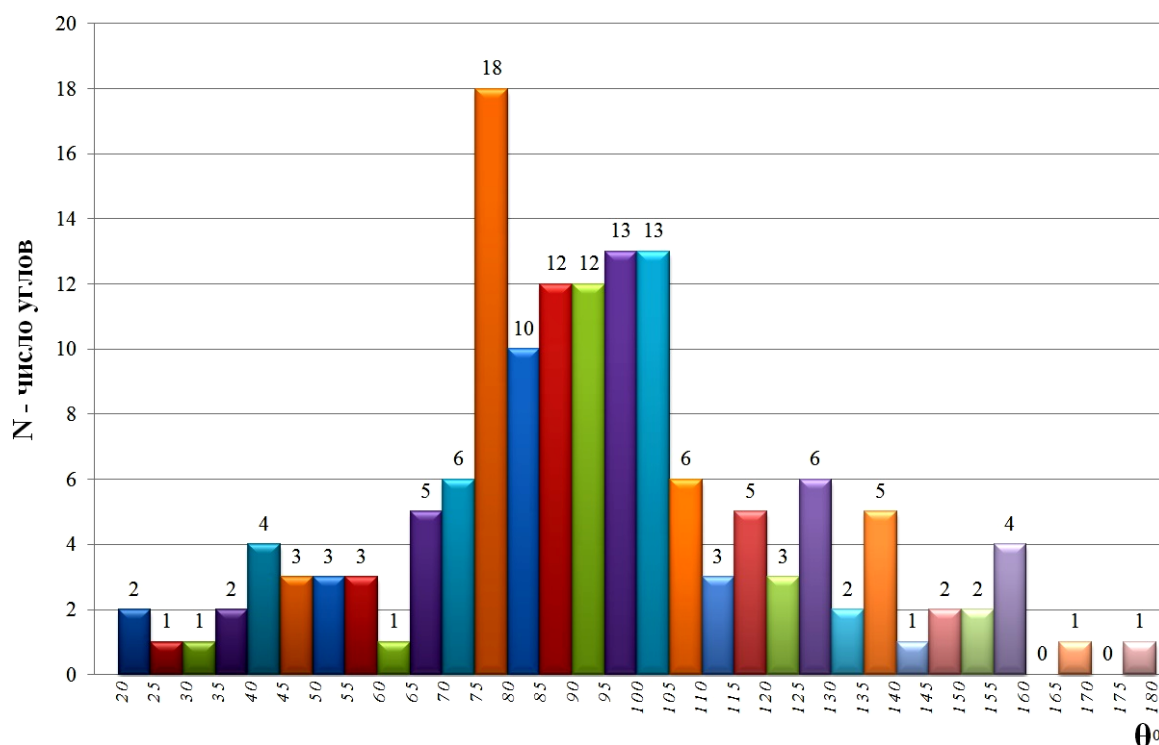


Рис. 5. Гистограмма статистического распределения углов перлита в межфазной границе Ст3

Гистограмма, показанная на рис. 5, имеет сложный вид. Распределение углов представляет собой кривую, характеризующуюся двумя максимумами, которая является бимодальной. Первый максимум приходится на угол 75–80°, что соответствует энергии межфазной границы 450 мДж/м². Второй максимум наблюдается при 100°, соответствующая энергия 545 мДж/м². «Хвосты» распределения, по-видимому, связаны с неравновесными границами.

Таким образом, в настоящей работе получена расчетная формула для определения энергии межфазной границы. Впервые измерена энергия межфазной границы феррит-перлит сплава Ст3. Измерены углы между границами зерен, образующих тройной стык, и построена гистограмма распределений. По виду распределений сделаны выводы о характере вариаций межфазной энергии границ зерен.

Литература.

1. Богданов А.С., Демьянов Б.Ф. Исследование структуры тройных стыков границ зерен в ОЦК и ГЦК металлах // Горизонты образования, 2012, вып. 14. <http://edu.secna.ru/media/f/fizika.pdf>, С. 3-5
2. Богданов А.С., Демьянов Б.Ф. Определение энергии границ зерен в меди // Горизонты образования, 2013, вып. 15. http://edu.secna.ru/media/f/fisika_tez_2013.pdf, С. 12-14
3. Глейтер Г., Чалмерс Б. Большеугловые границы зерен. - М.: Металлургиздат, 1975. - 375 с.
4. Brent L. Adams. Mapping the Grain-Boundary Character-(Free) Energy Linkage in Polycrystalline Materials // Textures and Microstructures. - 1996. - V. 26, pp. 5–10.
5. Мартынов А.Н. Исследование атомных механизмов структурных превращений вблизи границ зерен кручения в ГЦК металлах. Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н. - Барнаул, 2011. - 150 с.
6. Смитлз К. Дж. Металлы. Справочное руководство. М.: Металлургия. 1980. - 447 с.
7. Мак Лин Д. Границы зерен в металлах. - М.: Металлургиздат, 1960. - 322 с.
8. Tschopp M.A., McDowell D.L. Asymmetric tilt grain boundary structure and energy in copper and aluminium // Philosophical Magazine. 2007. V.87. No.25. P. 3871–3892.
9. Драгунов А.С., Демьянов Б.Ф., Векман А.В. Энергия симметричных границ зерен наклона в алюминии // Ползуновский альманах, 2009. – №3. Том 2. – С.133-135.

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОФАЗНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ NiTi-12X18N

Г.Б. Тажигаева, ст. преподаватель, к.ф.-м.н., Л.И. Квеглис*, профессор, д.ф.-м.н.,
Г.С. Молдабаева, преподаватель

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
Казахстан, г. Усть-Каменогорск, 070004

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, 660041

E-mail: gauhar_tazh@mail.ru

Простой возможностью реализации механохимических реакций является результат структурных нестабильностей сплавов с мартенситными превращениями. Решение проблем инициирования химических реакций механическим воздействием важно для создания новых конструкционных материалов, используемых в машиностроении, а также для решения проблемы соединения металлических конструкций (сварка). Сплав никелида титана широко используется в технике благодаря эффекту памяти формы. Этот эффект проявляется при мартенситном переходе. Аустенитная нержавеющая сталь также претерпевает мартенситный переход. Поскольку при мартенситном превращении под действием механических нагрузок имеют место фазовые превращения с образованием новых фаз, то можно считать такие превращения механохимическими реакциями. Вероятно, можно ожидать образование продуктов механохимической реакции на границе раздела двух материалов, испытывающих мартенситный переход при механической нагрузке [1].

При исследовании поверхности разрыва образцов системы NiTi-12X18N на больших увеличениях в электронном микроскопе были обнаружены закристаллизовавшиеся капли металла (рис.1). Это свидетельствует о том, что в зоне реакции за счет локального контактного разогрева формировались капли жидкой фазы.

Методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа исследовали образец нержавеющей стали до, и после реакции. Результаты представлены на рис. 2 а, б, соответственно.

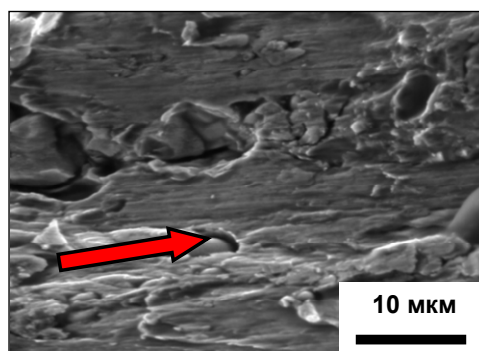
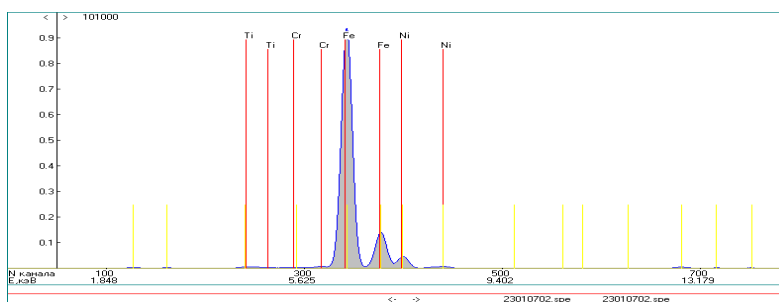
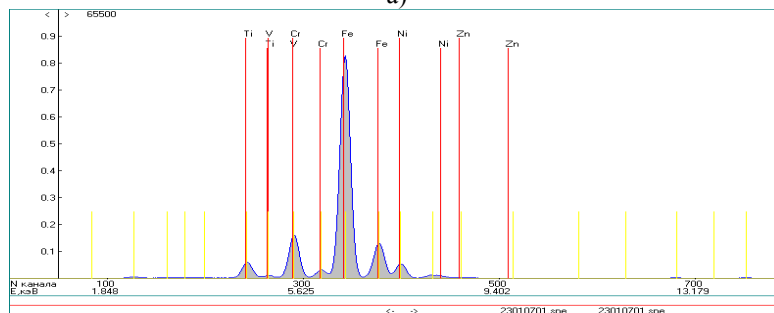


Рис. 1. Изображение поверхности никелида титана после прохождения механохимической реакции между никелидом титана и нержавеющей сталью



а)



б)

Рис. 2. Рентгеноспектральный анализ продуктов реакции: а) исходного образца нержавеющей стали; б) образца нержавеющей стали после прохождения механохимической реакции

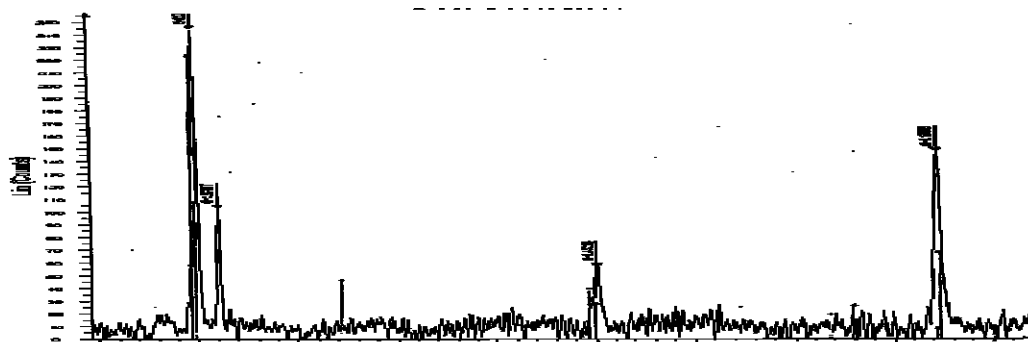


Рис. 3. Дифракция рентгеновских лучей от поверхности нержавеющей стали после твердофазной реакции

На рис. 3 представлена картина дифракции рентгеновских лучей, полученная от поверхности разрыва между соединенными твердофазной реакцией сплавами никелида титана и нержавеющей сталью. А в таблице 1 приведены результаты ее расшифровки.

Видно, что кроме компонентов, входящих в нержавеющую сталь (Fe, Cr, Ni) присутствуют фазы, которые образовались в ходе реакции: NiCr, NiTi, Ni₂Ti, Ti₂Ni, Fe₂Ti, Ni₃Ti.

Из рентгенограмм (рис. 2) можно видеть, что после прохождения реакции на поверхности нержавеющей стали, произошло перераспределение компонентов и выявлен титан. Это может быть вызвано направленной диффузией титана в процессе механохимической реакции, протекающей при значительной пластической деформации. В результате совместного динамического нагружения образцов никелида титана и нержавеющей стали, в зоне контакта происходит перераспределение компонентов сплавов и механохимические реакции, продукты которых связывают образцы. Мартенситные превращения в сплавах свидетельствует об их структурной нестабильности и возможности прохождения твердофазных реакций под действием давления.

Области локального плавления мы видим в эксперименте. Энергия, выделившаяся при механическом воздействии, может расходоваться на нагревание и плавление материала в зоне контакта.

Таблица 2

Результаты расшифровки дифракционной картины (рис.3)

табл. эксп	NiTi			Ni ₂ Ti			Ti ₂ Ni			Fe ₂ Ti			Ni ₃ Ti			Cr ₂ Ti		
	d _{hkl}	hkl	I	d _{hkl}	hkl	I	d _{hkl}	hkl	I	d _{hkl}	hkl	I	d _{hkl}	hkl	I	d _{hkl}	hkl	I
2,01 C	2,01	012	О.С.	2,007	114	О.С.	2,00	440	С.	2,00	201	О.С.	2,0772	004	О.С.	2,058	201	О.С.
1,9737 C	1,73	112	Сл.	1,9	202	С	1,9	531	сл	1,96	004	сп	1,95	202	С	1,986	004	С
1,4321 C	1,496	200	сл	1,473	1022	сл	1,416	800	сл	1,38	300	сп	1,511	204	сл	1,421	300	сл
1,1709 C	1,222	211	сп	1,275	110	сп	1,187	931	сл	1,20	220	С	1,1728	206	сп	1,230	220	О.С.

Суммарную энергию Q_{Σ} можно оценить по следующей формуле:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{пл}} + Q_{\text{наг}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{пл}}$ - энергия, потраченная на плавление, $Q_{\text{наг}}$ - энергия, потраченная на нагрев;

$$Q_{\text{пл}} = \lambda_{\text{пл}} \cdot m_{Ni}, \quad (2)$$

$$Q_{\text{наг}} = m_{Ti} \cdot c_{Ti} \cdot \Delta T, \quad (3)$$

где m_k - масса компонента k , c_k - удельная теплоемкость, $\lambda_{\text{пл}}$ - удельная теплота плавления, ΔT - разность температуры плавления $T_{\text{пл}}$ и комнатной температуры $T_{\text{комн}}$ $\Delta T = T_{\text{пл}} - T_{\text{комн}}$.

Объем закристаллизованных каплей жидкой фазы можно определить из рисунка 3:

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} 3,14 \cdot (4 \cdot 10^{-6})^3 = 268 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3. \quad (4)$$

Плотность Ti - $4,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления $1668 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\lambda=18,8 \text{ кДж/моль}$ $\lambda=315 \text{ кДж/кг}$.
 $m_{Ti} = \rho \cdot V = 4,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 268 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3 = 12 \cdot 10^{-13} \text{ кг}$.

Теплоемкость- $0,54 \text{ кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$

$$Q = m_{Ti} \cdot c_{Ti} \cdot \Delta T = 12 \cdot 10^{-13} \text{ кг} \cdot 0,54 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot (1668^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}) = 0,10 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$$

$$Q_{\text{пл}} = \lambda_{\text{пл}} \cdot m_{Ni} = 315 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot 12 \cdot 10^{-13} \text{ кг} = 3780 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} \approx 0,04 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$$

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пл}} + Q = 0,04 \cdot 10^{-5} + 0,10 \cdot 10^{-5} = 0,14 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$$

Таким образом, мы посчитали общую энергию, приходящуюся на область капли. Плотность энергии можно посчитать по формуле:

$$\frac{Q_{\text{общ}}}{V} = \frac{0,14 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}}{25,19 \cdot 10^{-12} \text{ моль}} = 55 \text{ кДж/моль}. \quad (5)$$

Зная, что $k_B \cdot T = \varepsilon_h$, можно определить температуру локальной области плавления:

$$T = \frac{\varepsilon_h}{k_B \cdot N_A} = \frac{\varepsilon_h}{R} = \frac{55 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}}{8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}} \approx 6600 \text{ К}. \quad (6)$$

Таким образом, из приведенных оценок видно, что температура капли может достигать значений, превышающих точку плавления, если энергия, поступающая от механического воздействия, будет сосредоточена в области капли и теплопроводность не может обеспечить отвод энергии из зоны контакта.

В работах Мягкова [2] и др. энергия активации твердофазной реакции значительно ниже, чем та энергия, которая получается из теплового баланса. Это связано с тем, что нелинейные эффекты невозможно описать с помощью классической молекулярной физики. Методы молекулярной динамики учитывают нелинейные явления и позволяют давать оценку параметров реакции при твердофазном синтезе. Уравнение для вероятности переключения химической связи позволяет определить эффект тепловой реакции.

$$R_{\pm} = \frac{\sqrt{T}}{R_0} e^{\frac{\pm \alpha \sigma}{P}}, \quad (7)$$

где $R_{\pm}=1$ - вероятность переключения химической связи; $\alpha=1$ - коэффициент трения; σ - нагрузка; P - давление, возникшее на границах зоны сдвиговой деформации, T - температура в зоне сдвиговой деформации; $R_0 = \sqrt{T_{\text{плав}}}$.

Вычислим нагрузку по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (8)$$

где F - усилие пресса; S - площадь поперечного сечения $S = 2 \text{ см}^2$; $m = 170 \text{ тонн/мин} = 2,83 \text{ кг}$

$$F = m \cdot (g - a) = 170 \text{ тонн/мин} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = \frac{170 \cdot 10^3 \text{ кг}}{60} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 27,77 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

$$\sigma = \frac{27,77 \cdot 10^3 H}{2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 138 \cdot 10^6 H / \text{м}^2, \quad R_0 = \sqrt{1668 + 273} = 44, \quad \frac{R_{\pm} R_0}{\sqrt{T}} = e^{\frac{\pm \alpha \sigma}{P}},$$
$$\frac{1 \cdot 44}{\sqrt{T}} = e^{\frac{138 \cdot 10^6}{1310^9}} = e^{0,01} = 1,01, \quad T = \left(\frac{44}{1,01} \right)^2 = 1897 K.$$
 (9)

Это эффективная температура реакции. Она более реалистична, чем температура, которая дает классическая молекулярная физика.

Из литературы известно, что жидкоподобное состояние может возникнуть под действием деформации давлением. Причем в случае структурной неустойчивости превращения проходят при более низких давлениях [3]. Из переохлажденной жидкости согласно уравнениям Лангера возникают дендриты (кристаллы льда), как результат взрывной кристаллизации. Движущей силой процесса взрывной кристаллизации из расплава являются: градиент температуры, градиент концентрации и градиент давления [4].

Как известно, дендритный рост осуществляется в области градиента температур в жидкой фазе, которая может образоваться в точках контакта шарика с поверхностью обрабатываемого сплава за счет локального давления, достигающего десятков ГПа. За счет плохого отвода тепла из капли в металлическом образце возникает градиент температуры, достаточный для роста дендрита. Жидкая фаза может значительно облегчить движение по схеме «сдвиг-поворот». Это доказывается работами В.Е. Панина, например [5, 6].

Выводы:

1. В результате совместного динамического нагружения образцов никелида титана и нержавеющей стали в зоне контакта происходит перераспределение компонентов сплавов и механохимические реакции, продукты которых связывают образцы.

2. Аналогичного связывания не происходит в образцах никеля в зоне контакта с нержавеющей сталью.

3. Структурная неустойчивость сплавов, претерпевающих мартенситный переход, облегчает возможность прохождения механохимических реакций.

4. Реакция твердофазного синтеза, инициированного механической нагрузкой, в двухслойных образцах Ni-Ti и Fe-Cr-Ni привела к образованию смеси фаз, состоящих из чистых элементов (Ni, Ti, Cr, Fe) и соединений: (NiCr, NiTi, Ni₂Ti, Ti₂Ni, Fe₂Ti, Ni₃Ti).

Литература

1. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика открытых систем [Текст]/Ю.Л.Климонтович //– М.: Янус, 1995. - т.1.– 624 с.
2. Мягков В.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез и мартенситный переход в тонких плёнках. [Текст] /В.Г.Мягков, Л.Е.Быкова, Г.Н.Бондаренко// ДАН, 2003. - Т. 388.- № 1. - С. 46-50.
3. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара. [Текст] /Л.П.Орленко// МАИК:Наука, 2006. – 304 с.
4. Langer J.S. Instabilities and pattern formation in crystal growth. [Текст] /J.S.Langer// Rev. Mod. Phys., 1980.-V. 52.- № 1.- P. 1-28.
5. Панин В.Е. Основы физической мезомеханики. [Текст] /В.Е.Панин// Физическая мезомеханика.- 1998.- №1.-С 5-22.
6. Панин В.Е. Физическая мезомеханика поверхностных слоёв твёрдых тел. [Текст] /В.Е.Панин// Физическая мезомеханика.-1999.- № 6.- С.5-23.

СТРУКТУРНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В НАНОВОЛОКНАХ CuAu I CO СВЕРХСТРУКТУРОЙ $L1_0$ В ПРОЦЕССЕ ОДНООСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*О.В. Яшин, аспирант, С.А. Романовский, аспирант, М.Д. Старостенков, д.ф.-м.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, каф. Общей физики, тел. 8-923-648-66-60
E-mail: rubtsovsk@inbox.ru*

Существует большое разнообразие нанообъектов с уникальными свойствами, которые могут быть использованы при проектировании и разработке новых материалов. Примером таких нанообъектов могут служить нановолокна и нанотрубки. Особый интерес для исследования представляют

нановолокна на основе упорядоченных сплавов и интерметаллидов. Основные исследования металлических нановолокон сосредоточены на изучении влияния состава, структуры и формы нановолокна на его механические свойства. Данная статья посвящена исследованию проявления анизотропии свойств сплавов в процессе деформации нановолокон в двух различных направлениях при температурах 10, 300 и 600 К.

Эксперимент проводился на расчетном блоке, имитирующем трехмерное нановолокно сплава CuAu I со сверхструктурой $L1_0$. Для расчета динамики атомной структуры был применен метод молекулярной динамики с использованием парных потенциалов Морзе [1]. Взаимодействие между атомами ограничивалось тремя первыми координационными сферами. Время одной итерации при расчете методом молекулярной динамики равнялось 10^{-14} с.

Применение потенциала Морзе хорошо себя оправдывает при исследовании большинства дефектов, образующихся в ходе структурно-энергетических превращений в процессе деформации. Имеется много исследований поведения дефектов различного рода с использованием данного потенциала как для двумерных моделей, так и трехмерных [2-10]. Потенциал Морзе широко применяется при исследовании таких дефектов, как границы зерен и антифазные границы, которые играют большую роль в процессах деформации интерметаллидов и упорядоченных сплавов.

На сегодняшний день проведены исследования стабильности сплавов меди и золота при различных температурах. Параметры устойчивой кристаллической решетки сплава CuAu I, рассчитанные для температуры 10, 300 и 600 К в работе [11], были использованы при моделировании нановолокна в настоящей статье ($a = b = 0,3958$ нм, $c = 0,3666$ нм для температуры 10 К, $a = b = 0,3901$ нм, $c = 0,3606$ нм для температуры 300 К и $a = b = 0,389$ нм, $c = 0,359$ нм для температуры 600 К).

Динамическая одноосная деформация растяжения задавалась посредством поступательного смещения всех атомов, находящихся в пространстве между захватами (атомами, составляющими жесткие границы), вдоль соответствующей оси растяжения $\langle 100 \rangle$ ($\langle 010 \rangle$) или $\langle 001 \rangle$ на $0,002$ нм через 10^{-13} с, что соответствует скорости деформации порядка $3,5 \cdot 10^9$ с $^{-1}$. Компьютерный эксперимент выполнялся при температуре, соответствующей 10, 300 и 600 К, которая задавалась через начальные скорости атомов в соответствии с распределением Максвелла. Для поддержания постоянной температуры применялся термостат Берендсена [12] с частотой коррекции скорости один раз в 10^{-13} с. Данный термостат применялся ранее при моделировании деформации нановолокон ГЦК металлов и сплавов в работах [2-4] и ГЦТ металлов.

На любом этапе деформации предполагалась возможность последующего охлаждения расчетного блока до 0 К, посредством диссипации энергии за его пределы, с целью детального анализа произошедших в нем структурных изменений.

В процессе эксперимента, на каждом этапе деформации рассчитывалась запасаемая энергия, приходящаяся на отдельный атом в зависимости от времени. Был создан визуализатор трехмерного атомного расчетного блока кристалла с возможностью поворота и выделения атомных плоскостей в заданном направлении, позволяющий наблюдать эволюцию дефектной структуры на атомном уровне.

В результате исследования для нановолокон CuAu I с ориентациями осей растяжения в направлениях $\langle 100 \rangle$ ($\langle 010 \rangle$) и $\langle 001 \rangle$ получена зависимость запасенной энергии деформации кристалла от времени растяжения. Анализ графиков данной зависимости позволяет выделить четыре основные этапа (стадии) структурно-энергетических превращений: квазиупругая деформация (I), пластическая деформация (II), течение – образования шейки (III) и разрушение (IV).

В результате компьютерных получены различные 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.

Прямая зависимость значения максимального напряжения на захватах от температуры для нановолокон $\langle 100 \rangle$ ($\langle 010 \rangle$) 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 [2-4]. Особенности структурно-энергетических превращений нановолокон $\langle 100 \rangle$ ($\langle 010 \rangle$) 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.

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	Максимальное 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	77	221	97
$\langle 001 \rangle$	300	13,2	75	185	150
$\langle 001 \rangle$	600	11,6	70	100	175

Для нановолокон $\langle 001 \rangle$ CuAu I наблюдается классическая обратная зависимость максимального напряжения на захватах от температуры эксперимента. На первой стадии деформации происходит накопление точечных дефектов (вакансий, атомов замещения и пар Френкеля). В конце первой стадии наблюдается резкое падение запасенной энергии деформации, которое сопровождается проскальзыванием участков нановолокна друг относительно друга, происходит аннигиляция точечных дефектов. На второй стадии деформации наблюдается пластическая деформация со скольжением участков нановолокна друг относительно друга по плоскостям с наиболее плотной упаковкой атомов. В конце второго этапа деформации образуется шейка. Дальнейшие процессы структурно-энергетических превращений наблюдаются преимущественно в области шейки. Запасенная энергия в течение третьего этапа деформации остается неизменной и колеблется в узком коридоре порядка 0,01 эВ/атом. В конце третьего этапа деформации происходит разрушение – разделение нановолокна на две части, сопровождаемое падением запасенной энергии деформации.

Резюме

В работе исследована ориентационная анизотропия сплавов некубической симметрии на примере нановолокон CuAu I при температурах 10, 300 и 600 К. Наиболее существенные различия, наблюдаемые в процессе структурно-энергетических превращений 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 $\langle 100 \rangle$ ($\langle 010 \rangle$). 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 $\langle 100 \rangle$ ($\langle 010 \rangle$).

3. Длительность второго этапа деформации для нановолокон рассматриваемы 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 $\langle 100 \rangle$ ($\langle 010 \rangle$) CuAu I.

4. Для нановолокон $\langle 100 \rangle$ ($\langle 010 \rangle$) 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 [2-4].

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 ранее для нановолокон сплава Ni₃Al [2-4].

Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ в рамках проектов № 13-02-00301 а, № 14-02-98000-р_сибирь_а, а также при финансовой поддержке грантов РНФ в рамках проектов № 14-12-00389 и № 14-12-00831.

Литература.

1. Царегородцев А.И., Горлов Н.В., Демьянов Б.Ф., Старостенков М.Д. Атомная структура антифазной границы и ее влияние на состояние решетки вблизи дислокации в упорядоченных сплавах со сверхструктурой L1₂//Физика металлов и металловедение. – 1984. – Т. 58. – Вып. 2. – С. 336-343.

2. 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. – № 3-1n. – С. 1072-1073.
3. 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 высших учебных заведений. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 8. – С. 47-54.
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., Дмитриев С.В. Распределение пространственных многогранников по координационным сферам в ОЦК-решетке // Журнал структурной химии. 1993. Т. 34. № 4. С. 107.
6. Mulyukov R.R., Starostenkov M.D., Structure and physical properties of submicrocrystalline metals prepared by severe plastic deformation // Acta Metallurgica Sinica (English Letters). 2000. V. 13. № 1. P. 301.
7. 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.
8. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Яшин А.В. Структурные трансформации вакансионной поры при радиационном облучении материала // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2013. Т.10. №1. С. 12-20.
9. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Павловская Е.П., Яшин А.В., Полетаев Г.М. Низкотемпературное растворение поры вблизи поверхности кристалла под воздействием ударных волн // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2013. Т.10. №2. С. 254-260.
10. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Павловская Е.П., Яшин А.В., Медведев Н.Н., Захаров П.В. Структурная трансформация вакансионных пор в деформированном кристалле под воздействием ударных волн // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2013. № 4. С. 563-571.
11. Попова Л.А. Исследование атомных механизмов структурных и сверхструктурных превращений в сплаве CuAu I // Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к. ф.-м. н. – Барнаул. – 2008. – 20 с.
12. Berendsen H.J.C., et al. Molecular-dynamics with coupling to an external bath // J. Chem. Phys. – 1984. – V. 81. – № 8. – P. 3684-3690.

РАЗМЕР ФРАГМЕНТОВ, ДИФРАКЦИОННАЯ КАРТИНА И СТЕПЕНЬ ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 30ХГСА ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИИ

М.К. Скаков, д.ф.-м.н., профессор, Г.К. Уазырханова, Ph.D, старший преподаватель
Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов*

**Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д.Серикбаева
г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева 19, тел 87776515674,*

E-mail: GUazyrhanova@mail.ru

Как известно [1,2], явление деформационного измельчения (фрагментация) структуры лежит в основе подавляющего большинства упрочняющих технологий обработки конструкционных изделий и сплавов, таких как прокатка, волочение, ковка и т.д. В последние годы весьма интенсивно развиваются основанные на этом явлении методы получения субмикро- и нанокристаллических конструкционных материалов. Установлено, что при определенных условиях деформирования исходный материал может перейти в субмикро или даже нанокристаллическое состояние [3]. Это приводит к проявлению у них принципиально новых физических и механических свойств. С ростом степени пластической деформации размер фрагментов убывает. Тем не менее вопрос о характерных изменениях в микродифракционной картине наблюдаемое при росте пластической деформации и измельчения размера фрагментов и зависимость числа рефлексов (n) на микроэлектронограмме от размера фрагментов (D) до сих пор недостаточно исследованы.

В связи с вышеизложенным, целью данной работы является изучение характера изменения микродифракционных картин наблюдаемых при горячей деформации прокатом в поверхностных слоях валка, выполненной из стали 30ХГСА. Установить связь между средним размером микрочастиц (D), формирую-

щих дифракционную картину, и числом точечных рефлексов на кольце (n), а также оценить интегральную степень пластической деформации, которой подвергаются поверхностные слои валка, выполненной из стали 30ХГСА.

В качестве материала исследования использовали сталь 30ХГСА в горячедеформированном состоянии. Химический состав стали: 0,3 % С; 0,8-1,1% Сг; 0,8-1,1 % Мn; 0,8-1,1 % Si; 0,025 % Р; 0,025 % S; остальное железо по ГОСТу 4543-71. Структурные исследования образцов стали проводили в НИИ нанотехнологий и новых материалов ВКГТУ им Д. Серикбаева и в научных лабораториях Томского Государственного архитектурно-строительного университета (Россия) методом электронной дифракционной микроскопии на тонких фольгах.

По мере приближения к поверхности валка возрастает как степень, так и температура пластической деформации. Вследствие этого формируется более совершенная фрагментированная субструктура. Здесь следует напомнить, что фрагментированная субструктура является последней субструктурой в цепочке субструктурных превращений, характерных для ОЦК материалов [4]. Когда она достигает необходимого совершенства, по её границам развиваются расслаивающие трещины.

С ростом степени пластической деформации размер фрагментов убывает. Наиболее полные данные об этом опубликованы в [5]. В этой работе приведена логарифмическая зависимость размера ячеек (или фрагментов) от степени пластической деформации: $\lg D = f(\lg \varepsilon)$, где D – размер ячеек (или фрагментов), ε – степень пластической деформации. Было показано, что эта зависимость для чистых ОЦК металлов близка к прямолинейной. Количественные данные для стали мартенситного класса со сходным химическим составом, деформированной растяжением представлены в [6]. Здесь наблюдается линейное убывание размера фрагментов со степенью пластической деформации в нормальных (а не логарифмических) координатах. Поэтому зависимости приведенные в [5,6] могут быть использованы для определения степени предшествующей деформации.

С ростом степени пластической деформации и измельчением размера фрагментов наблюдаются характерные изменения в микродифракционной картине, наблюдаемой в электронном микроскопе. На рисунках 1-2 приведены электронно-микроскопические изображения фрагментированной субструктуры и соответствующие им микродифракционные картины, полученные после термообработки и в различных слоях валка исследуемой стали 30ХГСА после деформации. С развитием фрагментации увеличивается число кристаллов (фрагментов) в единице площади объекта, вследствие чего дифракционная картина изменяется (следует учитывать, что каждый фрагмент дает свои отражения). Вторым фактором, влияющим на усложнение микродифракционной картины, является средняя разориентировка на границах фрагментов. Если она увеличивается и фрагменты приближаются по своим свойствам к микрзернам, микродифракционная картина приближается к кольцевой. Напротив, если угол разориентировки остается небольшим, микродифракционная картина остается точечной, содержащей одну или несколько плоскостей. Как видно из рисунка 2, кольцевые микродифракционные картины наблюдаются в сталях после деформации, после термообработки – точечные (рисунок 1) [7]. Это означает, что фрагменты, возникающие в ходе деформации стали, значительно разориентированы относительно друг друга. Фрагменты, образованные термообработкой стали, практически неразориентированы.

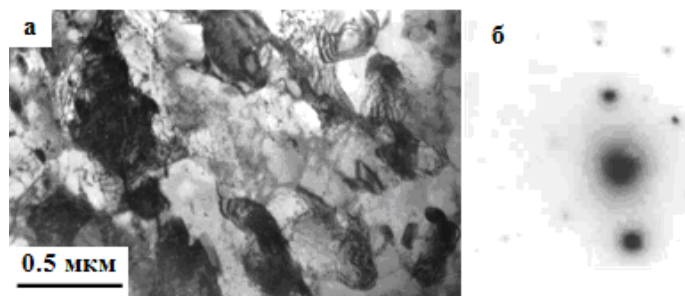


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение фрагментированной субструктуры и соответствующая микродифракционная картина, полученная после термообработки (а,б) [7]

На основании полученных результатов можно установить связь между средним размером микрочастиц (D), формирующих дифракционную картину, и числом точечных рефлексов на кольце (n). Таким образом, имея зависимость: $n = f(D)$, по числу точечных рефлексов на кольце микродифракци-

онной картины можно определить средний размер микрозерен в конкретном локальном объеме материала. В настоящей работе были проведены подобные измерения для исследуемой стали 30ХГСА и стали мартенситного класса 34ХНЗМФА [5], деформированной растяжением до разных степеней пластической деформации. Все измерения проведены в одинаковых условиях: 1) при одинаковой селекционной диафрагме, при этом размер области материала, вырезаемой диафрагмой, был равен 0.6 мкм^2 , и 2) число рефлексов n высчитывалось по первому кольцу микродифракционной картины, т.е. по рефлексам типа [110]. Полученные данные сведены на рисунке 3. Построенная в работе зависимость $n = f(\lg D)$ можно использовать для определения средних размеров фрагментов в локальном объеме материала. Эта зависимость может быть использована и для определения степени пластической деформации в данных локальных объемах материала. Кроме того, рисунок 3 подтверждает общий характер изменения дифракционной картины с измельчением размера кристаллов (фрагментов).

Этот результат также свидетельствует о том, что в процессе деформации наряду с измельчением фрагментов имеет место возрастание разориентировки на их границах. Различие во фрагментированных структурах между термообработанным состоянием и деформированным заключается в том, что при сопоставимых размерах фрагментов степень их разориентировки в деформированном состоянии много выше, чем в термообработанном. Примеры дифракционных картин приведены на рисунках 1-2. В одном случае сохраняется точечная микродифракционная картина с небольшими тяжами, в других - развивается кольцевая микродифракция. Причина этого явления заключается в том, что границы деформационного происхождения поглощают значительно большее количество дислокаций, чем границы термического происхождения.

Оценим интегральную степень пластической деформации, которой подвергаются исследуемые в работе слои вала. Для этого воспользуемся известной линейной зависимостью между размером фрагментов и степенью пластической деформации, представленной на [5,6]. Иными словами, оценим степень пластической деформации, приводящую к формированию фрагментированной структуры в деформированной прокатом стали 30ХГСА. Средний размер фрагментов, достигаемый в слое на расстоянии 2 мм от поверхности вала, для анизотропных фрагментов составляет величину $0.27 \times 0.66 \text{ мкм}$, для анизотропных – 0.43 мкм , средний размер фрагментов – 0.44 мкм . Согласно [5,6], это соответствует степени пластической деформации $\varepsilon \approx 0.70$.

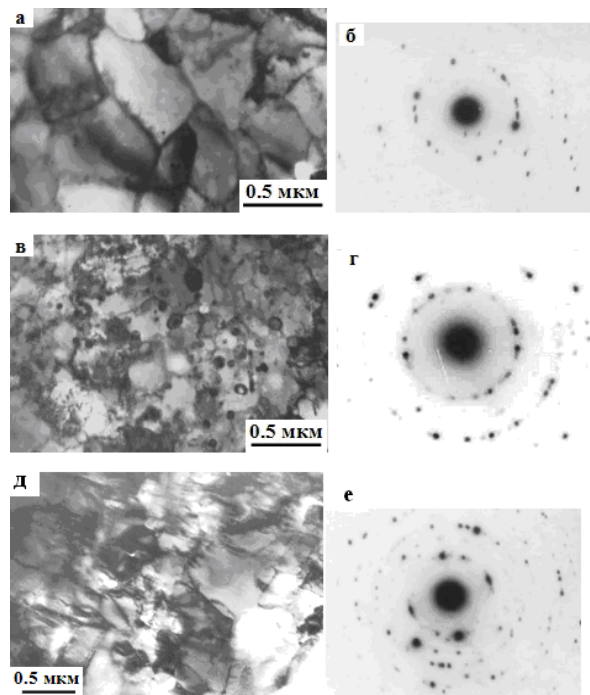


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения фрагментированной субструктуры и соответствующие им микродифракционные картины, полученные после деформации прокатом на расстоянии 0.5 мм от поверхности вала (а, б) и на поверхности вала (в, г), на расстоянии 2мм от поверхности вала (д, е)

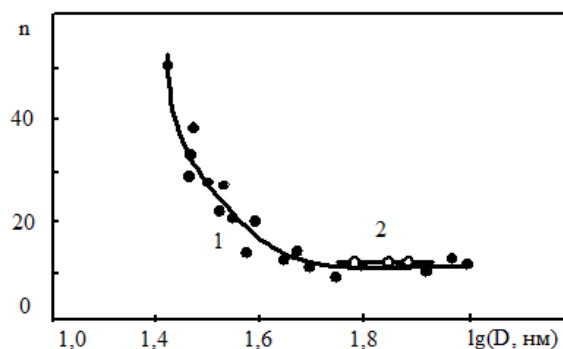


Рис. 3. Зависимость числа рефлексов (n) на микроэлектроннограмме от размера фрагментов (D) для сталей мартенситного класса. Размер области материала, вырезаемого селективной диафрагмой, - $0,6 \text{ мкм}^2$ 1 – сталь 34ХНЗМФА [5]; 2 – исследуемая сталь 30ХГСА

В слое, расположенном на расстоянии 0.5 мм от поверхности валка, анизотропные фрагменты имеют размер величиной $0.25 \times 0.56 \text{ мкм}$, для анизотропных – 0.39 мкм, средний размер фрагментов – 0.40 мкм. Здесь, согласно [5,6], степень пластической деформации достигает величины $\varepsilon \approx 0.75$.

На поверхности валка присутствуют только изотропные фрагменты, средний размер которых 0.22 мкм. Ему соответствует степень пластической деформации $\varepsilon \approx 0.85$.

Таким образом, используя данные [5,6], получаем зависимость степени пластической деформации ε от величины удаления от поверхности валка, которая представлена на рис. 4. Из этого рисунка очевидно, что в деформированной прокатом стали 30ХГСА структура формируется, прежде всего, степенью пластической деформации, которая аккумулируется в поверхностном слое валка.

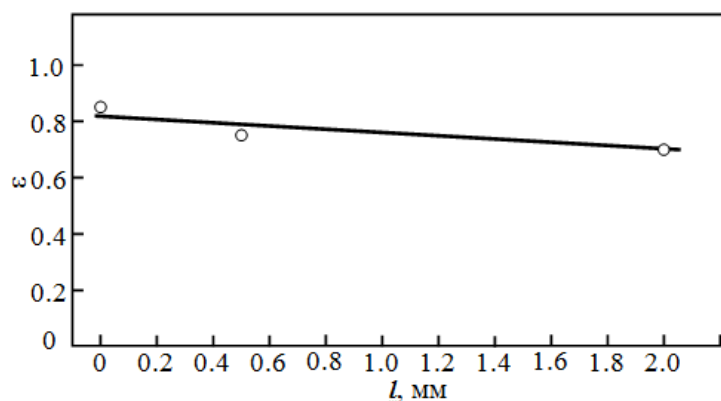


Рис. 4. Изменение степени пластической деформации ε в деформированной прокатом стали 30ХГСА по мере удаления от поверхности валка

Таким образом, на основании полученных результатов исследования характера изменения микродифракционной картины и связи между средним размером микрозерен (D), формирующих дифракционную картину, и числом точечных рефлексов на кольце (n) при горячей деформации в поверхностных слоях стали 30ХГСА можно сделать следующие выводы:

-определено, что фрагменты, возникающие в ходе деформации стали, значительно разориентированы относительно друг друга. Фрагменты, образованные термообработкой стали, практически неразориентированы;

-показано, что после деформации наблюдаются кольцевые микродифракционные картины, после термообработки – точечные;

-установлено, что средний размер фрагментов, достигаемый в слое на расстоянии 2 мм от поверхности валка, для анизотропных фрагментов составляет величину $0.27 \times 0.66 \text{ мкм}$, для анизотропных – 0.43 мкм, средний размер фрагментов – 0.44 мкм. Степень пластической деформации $\varepsilon \approx 0.70$;

- определено, что в слое, расположенном на расстоянии 0.5 мм от поверхности вала, анизотропные фрагменты имеют размер величиной 0.25×0.56 мкм, для анизотропных – 0.39 мкм, средний размер фрагментов – 0.40 мкм. Здесь степень пластической деформации достигает величины $\varepsilon \approx 0.75$; -показано, что на поверхности вала присутствуют только изотропные фрагменты, средний размер которых 0.22 мкм. Ему соответствует степень пластической деформации $\varepsilon \approx 0.85$.

Литература.

1. Trivedi P., Field D.F., Wieland H. Alloying effects on dislocation substructure evolution of aluminum alloys // International Journal of Plasticity.-№ 20. -pp.459-476. (2004)
2. Mao S.-W., Lo W.-Ch., Huang H.L., Ho N.J. Dislocation of interstitial-free steel subjected to low cycle fatigue at various strain amplitude // Journal of Marine Science and Technology.-Vol.19,№2. –pp. 115-119.(2011)
3. George T. High-Strain-Rate Deformation: Mechanical Behavior and Deformation Substructures Induced // Annual Review of Materials Research.- Vol.42. -pp 285-303.(2012)
4. Трефилов В.И., Моисеев В.Ф., Печковский Э.П. и др. Деформационное упрочнение и разрушение поликристаллических материалов. - Киев: Наукова думка, - 256с. (1989)
5. Козлов Э.В., Попова Н.А., Конева Н.А. Фрагментированная субструктура, формирующаяся в ОЦК-сталях при деформации // Изв. РАН. Серия физическая.– Т.68, №10. – С.1419-1427. (2004)
6. Козлов Э.В., Попова Н.А., Игнатенко Л.Н. и др. Влияние типа субструктуры на перераспределение углерода в стали мартенситного класса в ходе пластической деформации // Изв. вузов. Физика. - №3. – С.72-86. (2002)
7. Skakov M., Uazyrkhanova G., Popova N., Scheffler M. Influence of Heat Treatment and Deformation on the Phase-Structural State of Steel 30CrMnSiA // Key Engineering Materials.- Vols. 531-532.- pp.13-17 (2013)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ

Е.П. Теслева, к.ф.-м.н., доц., М.О. Танчев, Ф.В. Шмидт, студенты гр. 17Г20

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

Жизнь человека в XXI веке связана с использованием большого количества технических устройств. Компьютеры, ноутбуки, микроволновые печи, беспроводные телефоны, сотовые телефоны и беспроводной Интернет являются неотъемлемым атрибутом нашей жизни. Но если о вреде излучения сотовых телефонов и микроволновых печей известно, то излучение роутеров (маршрутизаторов) с беспроводным Интернетом до недавнего времени считалось абсолютно безвредным [1]. В последнее время ученые все чаще приходят к мысли о том, что беспроводные устройства не столь безопасны для здоровья человека и окружающей среды, как это принято считать.

Дискуссия о вреде излучения от беспроводного Интернета началась с появлением самой технологии Wi-Fi в 1991 году. Термин Wi-Fi произошел от Wireless-Fidelity, что дословно означает «беспроводная точность». Основным преимуществом Wi-Fi перед другими технологиями (Bluetooth, Zigbee) является высокая скорость передачи данных, поэтому эта технология столь бурно развивается в таких областях бытовой электроники, как беспроводной доступ в Интернет, беспроводное телевидение, беспроводные DVD-проигрыватели, промышленная телеметрия, транспортные локальные беспроводные сети. Беспроводной интернет обычно работает в диапазоне 2,2-2,45 и 5 ГГц [2]. Электромагнитное излучение в близких к этому диапазонах используют в радио FM диапазона, телевидении и мобильной связи, а также его выдают беспроводные телефоны, микроволновые печи и многие другие привычные бытовые приборы.

Исследованием вопроса о вреде беспроводных технологий занимались многие научные организации во всем мире. Например, британское Агентство по охране здоровья пришло к выводу, что Wi-Fi абсолютно безвреден, а по интенсивности излучения уступает сотовой связи примерно в сотни раз. В последнее время появляется все больше доказательств, что нахождение в квартире, помещении роутера Wi-Fi оказывает влияние на живые организмы и состояние здоровья человека. Нидерландские ученые пришли к выводу о негативном воздействии Wi-Fi-сигналов на человеческий мозг, наблюдая за деревьями, находящимися в зоне беспроводного интернета. Wi-Fi-сигналы могут быть связаны с ранним опаданием листьев с растений и с аномальным отмиранием коры на деревьях [3,4].

Известно, что при низких значениях параметров электромагнитного излучения наибольшее влияние на живые организмы оказывают слабые магнитные поля. При этом оно способно накапливать-

ся живыми организмами с течением времени. Повсеместное использование беспроводных технологий в жилых помещениях и офисах может привести к усилению воздействия за счет сложения сигналов идущих от многочисленных источников. Последствия такого воздействия могут проявиться через 5-10 лет.

Негативное влияние высокочастотного электромагнитных полей на живые организмы связано с постепенным повреждением клеток организма, вызванное сближением и трением друг о друга молекул воды, глюкозы и жира, сопровождающееся нагревом. Со временем это может дать о себе знать в виде головных болей, повышения давления без причины, в некоторых случаях учащения сердцебиения. Также беспроводной Интернет влияет на память, она может со временем ухудшаться. Излучение от роутеров Wi-Fi может привести к развитию различных опухолей, изменения генов (повреждения ДНК) и, конечно же, такой вид Интернета может поспособствовать преждевременному старению.

Особенно сильно высокочастотное излучение воздействует на детей, поскольку у них более тонкая черепная кость, а нервная система находится в стадии формирования. В некоторых школах США, Канады, Великобритании уже запретили использование беспроводных сетей из соображений сохранения здоровья подрастающего поколения.

Целью работы является исследование высокочастотного электромагнитного излучения маршрутизаторов беспроводной сети.

Задачи:

1. Произвести оценку уровня электромагнитного излучения интерактивных маршрутизаторов (роутеров).
2. Произвести оценку уровня электромагнитного излучения маршрутизаторов на разном расстоянии от источника.

Анкетирование студентов показало, что основная масса пользователей Wi-Fi не задумывается об излучении исходящем от маршрутизатора, не выключает его на ночь и чаще всего располагает его вблизи рабочего места.

Измерение уровня электромагнитного излучения проводили при помощи прибора АТТ/2592. Это прибор, предназначенный для мониторинга и проведения изотопных (ненаправленных) измерений параметров высокочастотных электрических и магнитных полей. При помощи данного прибора можно измерить напряженность электрического и магнитного полей, а так же плотность потока мощности энергии указанных полей. Измерения проводились для двух маршрутизаторов марок Alcatel-Lucent и TP-Link с шагом в 10 см. Фоновые значения измерялись при включенном компьютере и выключенном роутере. Кроме того были выполнены замеры при проводном подключении интернета. Замеры в каждой точке проводились не менее 3 раз. Графики зависимости измеряемых величин от расстояния представлены на рис. 1-3. Анализ результатов показывает, что в непосредственной близости от маршрутизатора значения изменяемых параметров превышает фоновые в 2 и более раза. При этом величина их существенно падает при увеличении расстояния. Пики на графике соответствуют месту расположения монитора компьютера, а также бытовым приборам, расположенным в соседних квартирах. Полученные значения не превышают предельно допустимых значений установленных санитарными правилами и нормами (СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96). Однако, плотность потока мощности энергии излучаемой маршрутизатором сравнима со значением этой величины для работающего холодильника или микроволновой печи. Значения электромагнитного излучения при проводном подключении близки к фоновым значениям.

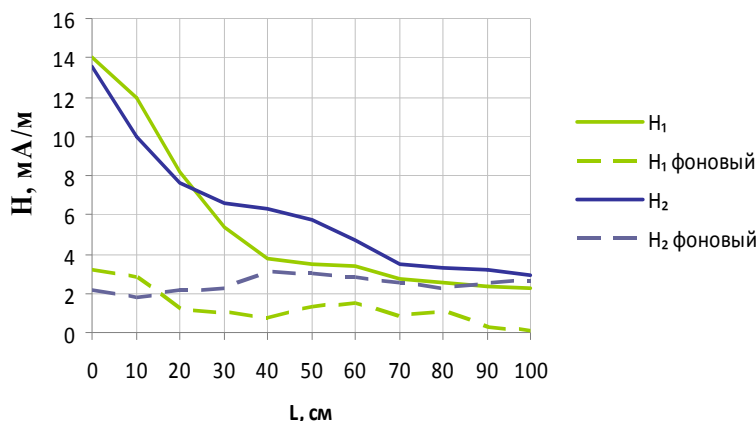


Рис. 1. Напряженность магнитного поля при включенном и выключенном маршрутизаторе (H_1 – марка Alcatel-Lucent, H_2 – марка TP-Link)

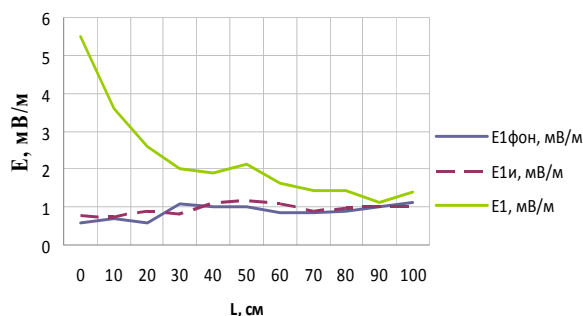


Рис. 2. Напряженность электрического поля маршрутизатора марки TP-Link ($E_{1\text{фон}}$ – фоновые значения; $E_{1и}$ – проводной интернет; E_1 – беспроводной интернет)

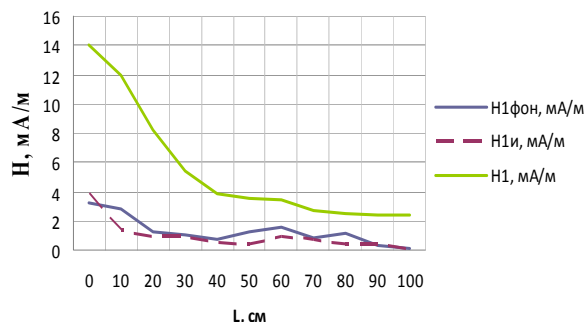


Рис. 3. Напряженность магнитного поля маршрутизатора марки Alcatel-Lucent ($H_{1\text{фон}}$ – фоновые значения; $H_{1и}$ – проводной интернет; H_1 – беспроводной интернет)

Проведя данное исследование, мы пришли к следующему выводу: проводной интернет безопаснее беспроводного, однако, если нет желания менять роутер на модем с проводами, то хотя бы нужно принять меры предосторожности.

- Размещать точку доступа к Wi-Fi не ближе чем в 1 м от мест, где человек проводит много времени (кровать, стол, диван, места для игр);
- передавать большие объемы данных или смотреть потоковое видео лишь в случае, если беспроводная связь устройства с точкой доступа хорошая (при повторной передаче воздействие излучения усиливается);
- использовать терминалы с контролем мощности;
- выключать точки доступа, когда они не используются (иначе устройство все равно посылает сигналы);
- в общественных местах лучше установить одну сеть Wi-Fi для всех устройств либо вернуться к проводному интернету.

Литература.

1. Беспроводной интернет: никакого риска? // MedLinks.ru 2000 [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.medlinks.ru/article.php?sid=29315>
2. Стандарты технологии 802.11. // ООО «ТЭСС Северо-Запад» 2000 [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: http://telemetry.spb.ru/technology-802_11
3. Датские школьники показали негативное влияние Wi-Fi. // Росбалт 2000 [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.rosbalt.ru/style/2013/05/28/1133772.html>
4. WiFi-сигнал сушит деревья и мозг. // ГАЗЕТА.GZT.RU URL: 2000 [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://gzt.ru/>

СПЛАВЫ С ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ TiNi

*А.А. Кыпчаков**, студент гр. 311/1, *Г.А. Байгонакова***, магистрант

*научный руководитель: Клопотов А.А.****, д.ф.-м.н., профессор

**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

***Томский государственный университет*

634003. г. Томск, пл. Соляная, 2, (3822)-66-06-78

E-mail: klopotovaa@tsuab.ru

Сплавы на основе TiNi обладают исключительно интересными свойствами, связанными с проявлением эффектов памяти формы и сверхэластичности. Структура и свойства TiNi сплавов изучались во многих исследованиях [1-6], однако еще есть ряд не выясненных важных моментов. Сплавы на основе TiNi испытывают различные последовательности фазовых переходов ($B2 \leftrightarrow B19$, $B2 \leftrightarrow B19'$, $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$ и др.), которые зависят от химического состава, предшествующих термомеханических обработок, особенностей воздействия и других факторов [1-6].

Целью данной работы является изучение особенностей в поведении структурных свойств в области фазовых переходов (ФП) сплавов на основе TiNi. Методом рентгеноструктурного *in situ* анализа исследованы изменения структурно-фазового состояния сплавов в области ФП. При этом были получены температурные зависимости параметров элементарных ячеек аустенитных и мартенситных фаз в области ФП на широком спектре сплавов на основе TiNi-TiMe (Me=Pd, Fe, Cu, Rh, Mo).

В сплаве TiNi(Mo) в температурной области от ~ 0 °C до -100 °C ($T_R=0$ °C) наблюдается изменение структурно-фазового состояния, связанного с МП $B2 \rightarrow R \rightarrow B19'$. На температурных кривых параметров элементарных ячеек и атомных объемов фаз B2, R и B19' в области предшествующей переходу и в самой области МП проявляются особенности нелинейного характера структурных параметров. А в температурной области, соответствующей началу МП $B2 \rightarrow R$ и $R \rightarrow B19'$, атомные объемы фаз B2, R и B19' довольно близки. Это находит отражение в недеформированных сплавах на температурных зависимостях атомных объемов в фазах B2, R и B19' (рис. 1), которые на начальном этапе перехода $B2 \rightarrow R$ и этапе образования кристаллов мартенсита B19' практически совпадают, а затем атомные объемы фаз R и B19' имеют значения меньше, чем объемы в исходной фазы B2. В деформированных сплавах наблюдается обратная картина. Приложенная деформация приводит к существенному изменению характера температурных зависимостей параметров элементарных ячеек в сплаве относительно исходного состояния. При этом атомный объем фазы B19', возникшей в результате деформационного воздействия, больше атомного объема фазы B2. При охлаждении наблюдается значительное уменьшение атомного объема фазы B19', который практически совпадает с атомным объемом R-фазы в низкотемпературной области. Переход из фазы B2 в R-фазу происходит практически без скачка атомного объема. Такое поведение атомных объемов при перестройке кристаллических структур в области МП отражает незначительные дилатационные изменения, свидетельствуя об энергетической близости аустенитной и мартенситной фаз в области перехода. При удалении от T_R возрастает отличие атомных объемов между фазами.

В сплаве TiNi(Mo) в температурной области от ~ 0 °C до -100 °C ($T_R=0$ °C) наблюдается изменение структурно-фазового состава, связанного с МП $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$. На температурных кривых параметров элементарных ячеек и атомных объемов фаз B2, R и B19' в области предшествующей переходу и в самой области МП проявляются особенности нелинейного характера структурных параметров. А в температурной области, соответствующей началу МП $B2 \rightarrow R$ и $R \rightarrow B19'$, атомные объемы фаз B2, R и B19' довольно близки. Это находит отражение в недеформированных сплавах на температурных зависимостях атомных объемов в фазах B2, R и B19' (рис. 1), которые на начальном этапе перехода $B2 \rightarrow R$ и этапе образования кристаллов мартенсита B19' практически совпадают, а затем атомные объемы фаз R и B19' имеют значения меньше, чем объемы в исходной фазы B2. В деформированных сплавах наблюдается обратная картина. Приложенная деформация приводит к существенному изменению характера температурных зависимостей параметров элементарных ячеек в сплаве относительно исходного состояния. При этом атомный объем фазы B19', возникшей в результате деформационного воздействия, больше атомного объема фазы B2. При охлаждении наблюдается значительное уменьшение атомного объема фазы B19', который практически совпадает с атомным объемом R-фазы в низкотемпературной области. Переход из фазы B2 в R-фазу происходит практически без скачка атомного объема. Такое поведение атомных объемов при перестройке кристаллических структур в области МП отражает незначительные дилатационные изменения, свидетельствуя об энергетической близости аустенитной и мартенситной фаз в области перехода. При удалении от T_R возрастает отличие атомных объемов между фазами.

Для поиска закономерностей о состоянии кристаллической решетки в высокотемпературной (аустенитной) и мартенситной фазах в температурных областях МП мы использовали экспериментальные данные, полученные в сплавах на основе TiNi-TiMe (Me=Fe, Co, Rh, Cu, Pd, Pt, Au). Первичные данные получены как в результате оригинальных исследований, так и из литературных источников [1-6]. Были сделаны оценки скачка атомного объема ($\Delta\Omega^{B2-B19'}$) между высокотемпературной и мартенситной фазами, находящимися в равновесных высокотемпературном B2 и низкотемпературном мартенситном состояниях в температурных областях вдали от МП. Следует отметить, что в области фазовых переходов для анализа проблематично использовать скачок атомного объема между аустенитной и мартенситной фазами в области МП. Это связано с тем, что в области МП на температурных зависимостях атомных объемов B2 состоянии и мартенситной фазы наблюдаются нелинейные явления. На основе анализа экспериментальных данных в сплавах на основе TiNi-TiMe (Me=Fe, Co, Rh, Cu, Pd, Pt, Au). выделены характерные варианты температурных зависимостей атомных объемов высокотемпературной и мартенситных фаз в области ФП (рис. 2) и способы определения “скач-

ка” атомного объема $\Delta\Omega^{A-M}$ ($\Delta\Omega^{B2-B19}$) между фазами B2 и B19'(B19). Как видно из приведенных схем величина “скачка” атомного объема характеризует разницу между атомными объемами фаз B2 и B19'(B19), находящихся в стабильных состояниях, соответственно в высокотемпературной и низкотемпературной областях. Величина “скачка” атомного объема между фазами B2 и B19'(B19) в усредненном виде характеризует несоответствие кристаллических решеток аустенитной и мартенситной фаз и должна влиять как на кинетику, так и на морфологию МП.

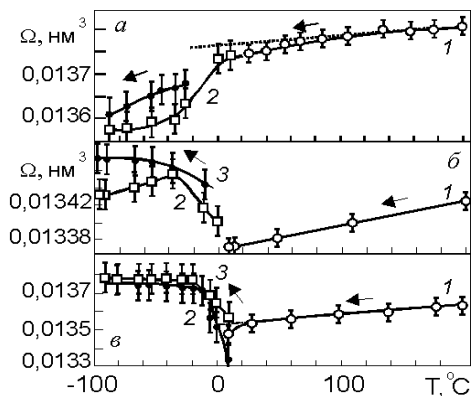


Рис. 1. Температурные зависимости атомных объемов в фазах B2 (1), R(2) и B19' (3) в исходном состоянии (а: $\epsilon=0\%$) в деформированных и заневоленных (б: $\epsilon=3,7\%$; в: $\epsilon=10\%$) образцах сплава Ti-Ni(Mo)

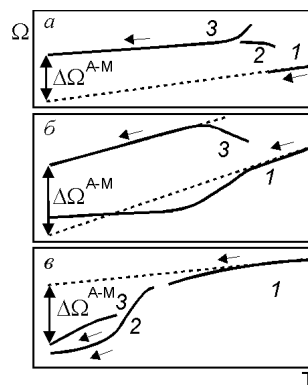


Рис. 2. Схематическое представление типичных температурных зависимостей атомных объемов в фазах B2 (1), R (2), и B19' (3) в сплавах на основе TiNi

При превышении атомного объема значений свыше $0,0145 \text{ nm}^3$ последовательность МП $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$ меняется на $B2 \leftrightarrow B19'$.

Таким образом, деформационное воздействие на сплавы с МП $B2 \leftrightarrow B19'$ и $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$, приводит к изменению параметров элементарных ячеек аустенитной и мартенситной фаз'.

Литература.

1. Гюнтер В.Э., Домбаев Г.Ц., Сысолятин П.Г. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. - Томск: ТГУ. - 1998. - 486 с.
2. Потекаев А.И., Клопотов А.А. Козлов Э.В. и др. Слабоустойчивые предпереходные структуры в никелиде титана. - Томск: изд. НТЛ. - 2004. - 296 с.
3. Беляев С.П., Волков А.Е., Ермолаев В.А. и др. Материалы с эффектом памяти формы. - Санкт-Петербург: НИИХ СПбГУ. - 1998. - Т.1, Т.2, Т.3. - 474 с.
4. Клопотов А.А., Сазанов Ю.А., Кудрявцев Ю.В., Семенова В.Л. /Мартенситные превращения в сплавах системы TiNi-TiRh //Изв. Вузов. Физика. 1991. N 8. С.44-48.
5. Клопотов А.А., Потекаев А.И., Матвеева Н.М., Козлов Э.В./Структурные превращения и пластическая деформация в сплаве $Ti_{49}Ni_{47,5}Pd_{3,5}$ //ФММ. 1997.Т.84. Вып.3. С.95-100
6. Otsuka R., Sawamura T., Shimuzi K. Crystal Structure and Internal Defects of Equiatomic TiNi Martensite// Phys. Stat. Sol. (A). - 1981. V.56.. - P.547-450.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА

А.А. Слобода, стажёр-исследователь, *В.В. Астанин, д-р ф.м.н., проф.,

Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук, г. Уфа, 450001

*Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, 450000

E-mail: alexandr.slx@mail.ru

В последнее время для разработки технологических процессов изготовления деталей всё больше используют программные продукты, которые упрощают и ускоряют разработку технологии. В представленной работе рассматривалось моделирование процесса прокатки (рис. 1) для изготовления детали защитная кромка лопатки вентилятора газотурбинного двигателя при обычных условиях и в режиме, приближенном к низкотемпературной сверхпластичности.

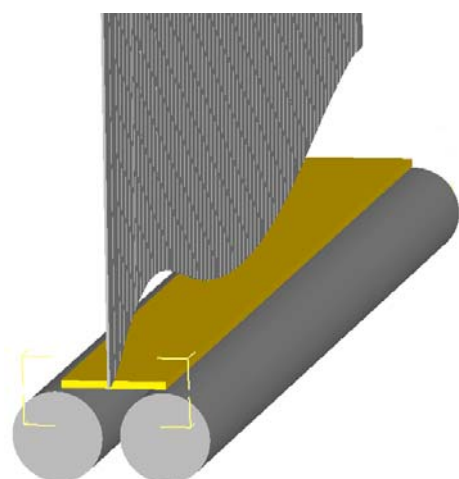


Рис. 1

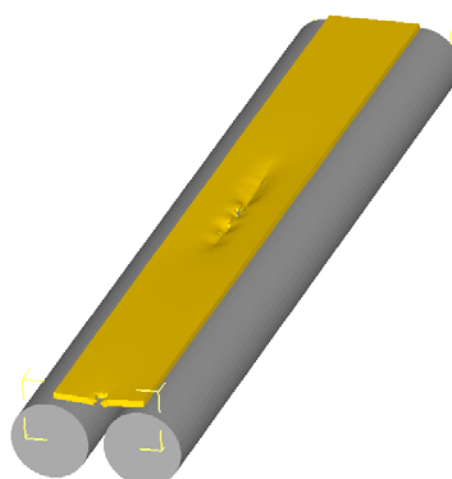


Рис. 2

В первом случае (рис. 2) процесс был приближен к условиям сверхпластической деформации. Режим представленного процесса составлял: температура 650°C , скорость деформации материала $\dot{\epsilon} \approx 3,5 \times 10^{-4}$. В результате математического моделирования наблюдается несоответствие с данными физических экспериментов.

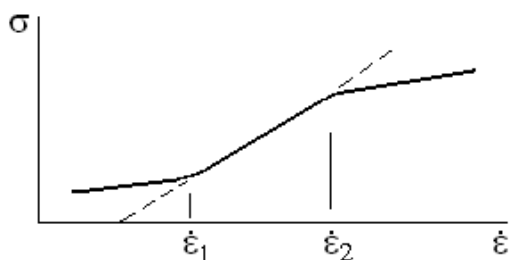


Рис. 3

Это связано с тем, что поведение сверхпластичных материалов заключается в нелинейной зависимости напряжений течения от скорости деформации, существовании интервала оптимальных скоростей деформации $\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2$ и высокой чувствительности напряжений к скорости деформации [1] (рис. 3). При этом скорость деформации материала, заданная при моделировании процесса, выходила за пределы базы данных программы по скоростям.

Во втором случае (рис. 4) моделирование процесса проводили при температуре 650°C , скорость деформации материала $\dot{\epsilon} \approx 2 \times 10^{-3}$. Как видно, данный материал начал деформироваться под действием пуансона и роликов в местах контакта с ними, что больше соответствует действительности. Здесь скоростные параметры также выходили за пределы базы данных, но были более приближены, чем в первом случае.

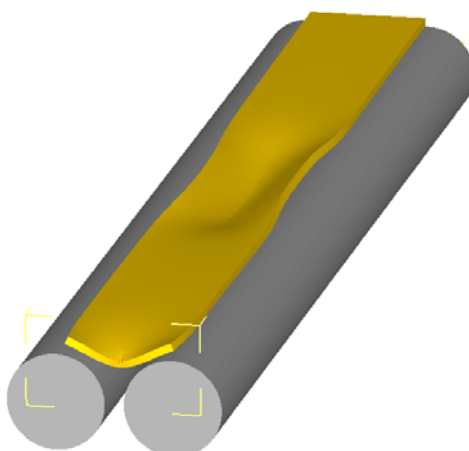


Рис. 4

В результате проведенной работы было установлено, что необходимо дополнять базу данных материала характеристиками, получаемыми в соответствующих условиях.

Литература.

1. Бхаттачария С.С., Быля О.И., Васин Р.А., Падманабхан К.А. Механическое поведение титанового сплава Ti-6Al-4V с неподготовленной микроструктурой при скачкообразном изменении скорости деформирования в режиме сверхпластичности // Изв. РАН. МТТ. 2009, № 6, с.168-177.

КОМПОЗИТЫ, АРМИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМ ВОЛОКНОМ, В ТЕХНОЛОГИЯХ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Е.В. Бабакова, ассистент, А.О. Чудинова, студент гр. 10В10

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: babakova-2014@yandex.ru*

В настоящее время наиболее широкое распространение получили углеродные волокна, которые используются в качестве армирующих наполнителей композитов и являются наиболее перспективными конструкционными материалами для создания ответственных изделий.

Углеродное волокно (углеволокно, УВ) – наноструктурированный органический материал, содержащий 92–99,99 % углерода и обладающий высокими значениями прочности и модуля упругости. Углеродные волокна относятся к переходным формам углерода, структурные элементы которого близки к графиту. Получают их термической обработкой химических волокон. УВ могут иметь различную форму – жгуты, ленты, нити, войлок, нетканые материалы [1].

Углеволокнистые композиты – многосложные структуры, образованные комбинацией углеродных волокон как армирующих элементов и связующего (матрицы). Основные виды углеволокнистых композитов представлены на рис. 1. Механические и другие свойства композита определяются тремя основными параметрами: высокой прочностью углеродного волокна, жесткостью матрицы и прочностью связи на границе матрица–волокно. УВ превосходят все известные волокнистые наполнители композитов по значениям прочности и модуля упругости. В результате упруго-прочностные характеристики композитов на их основе значительно превышают аналогичные показатели алюминия и стали. При этом удельный вес углеродных волокон не превышает 2 г/см³, что позволяет получать конструкции вдвое легче алюминиевых и в пять раз легче стальных. Однако, композиты с углеродными волокнами имеют более высокие прочность и модуль упругости при растяжении и изгибе в сравнении со стеклопластиковыми, но в то же время имеют более низкую ударную вязкость [2].

Удельные прочностные характеристики разработанных композиционных материалов с наполнением углеродными или амидными волокнами являются наивысшими из всего спектра имеющихся в настоящий момент материалов. Велика удельная прочность разнообразных металлических композиционных материалов конструкционного назначения.



Рис. 1. Виды углеволокнистых композитов

В последние годы отмечается большое развитие технологий быстрого прототипирования (БП). На сегодняшний день известно более 80 разновидностей технологий БП [3]. Реализация новых технических решений в области высоких технологий делает возможным быстрое изготовление деталей – прототипов любой сложности без дорогостоящей формообразующей оснастки или ручного труда, при этом сокращая финансовые, энергетические и временные затраты, и как следствие, конкурентное преимущество на текущем рынке.

Существует ряд современных технологий быстрого прототипирования, но только некоторые из них могут быть использованы для получения волокно-упрочненных композитов. К ним относятся: стереолитография (SLA), метод осаждения расплавленной нити (FDM), изготовление объектов с использованием ламинирования (LOM), селективное лазерное спекание (SLS) и др. В каждой из технологий существует ряд затруднений, связанный с получением волокно-упрочненных композитов [4].

Для изготовления композиционного материала по SLA, фотополимеры смешивают с частицами или волокнами, которые дают улучшенные свойства. Однако, армированные частицы вызывают увеличение вязкости фотополимера, которые, следовательно усложняет процесс получения новых слоев.

В порошковых технологиях БП, таких как SLS и др., трудно получать однородный слой смеси порошок-волокно. В FDM- и LOM-технологиях для получения волокно-упрочненных композитов требуется предварительная обработка волокна перед БП [4].

Из всех технологий БП SLS является самой широкопрофильной, потому что ни одной другой не доступно такой широкий диапазон применимых материалов – порошки пластика, металла, керамики, стекла, нейлона. Благодаря этому возможно её использование практически во всех отраслях, где требуется производство высокоточных изделий сложной геометрической формы [5].

Технология послойного построения, SLS предполагает использование лазерного излучения высокой мощности (например, CO₂-лазер) для того, чтобы плавить небольшие частицы пластика, металла (прямое лазерное спекание металла), керамические или стеклянные порошки в массу, которая имеет желаемую трехмерную форму. [6]

Лазер избирательно спекает порошкообразный материал путем сканирования поверхности порошка и последовательной сверки его с генерируемой в памяти компьютера 3D моделью детали (например, файлов CAD или сканированных данных в другом формате). После того как очередное сечение детали закончено, емкость с порошком погружается на один слой ниже и процесс повторяется (рис.2).

Законченные модели впоследствии извлекаются из рабочей камеры и освобождаются от остатков порошка. В зависимости от требований, модели могут, например, подвергнуться последующей обработке подобно шлифованию или покраске. Технология и материалы непрерывно совершенствуются и, благодаря этому, этап финишной обработки минимизируется [7].

Модели, изготовленные по технологии селективного лазерного спекания, считаются самыми прочными среди 3D напечатанных изделий [7].

В отличие от некоторых других технологий БП таких, как стереолитография и метод осаждения расплавленной нити, SLS не требует поддерживающих структур. Это связано, прежде всего, с тем фактом, что печать ведется в окружении порошка [6].

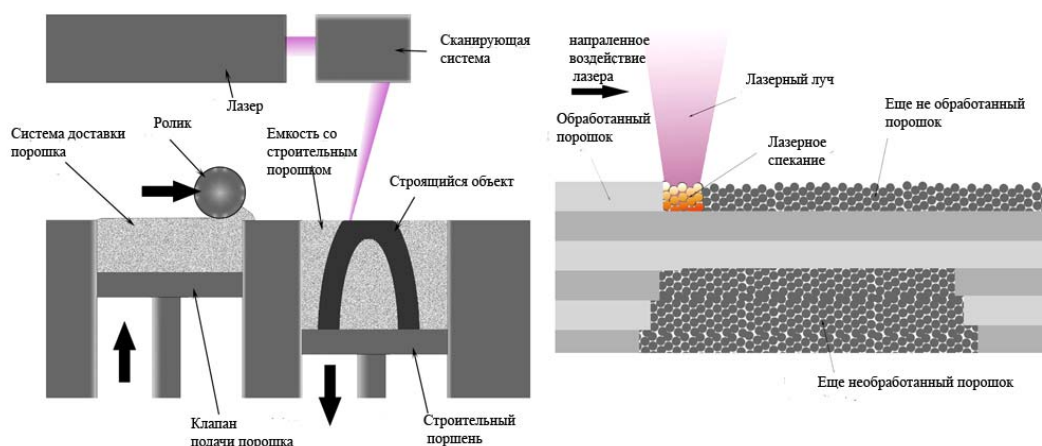


Рис. 2. Технология селективного лазерного спекания [6]

В Юргинском технологическом институте (филиале) Национального исследовательского Томского политехнического университета (ЮТИ НИ ТПУ) создана уникальная современная лаборатория компактного интеллектуального производства. В комплект оборудования данной лаборатории входит установка послыонного лазерного спекания оригинальной конструкции (рис. 3).

Установка, представляет собой технологический лазерный комплекс формирования поверхностей деталей сложной пространственной формы. Она состоит из иттербиевого волоконного лазера ЛК – 100 – В, трехкоординатного стола, персонального компьютера, системы ЧПУ, и специального программного обеспечения. Иттербиевый волоконный лазер с длиной волны 1070 нм позволяет регулировать мощность от 10 до 100 Вт.

Одной из проблем, которая решается в лаборатории компактного интеллектуального производства является создание композита, армированного углеволокном, с использованием технологии SLS. Необходимо выбрать оптимальный режим спекания композита, создать технология укладки углеволокна, а так же увеличить смачиваемость на границе матрица-волокно.

Проведенный обзор, показал, что на сегодняшний день является актуальным создание композитов, армированных УВ, т.к. они находят все более широкое применение в летательных аппаратах и изделиях, для которых моменты инерции играют определяющую роль (центробежные накопители энергии и высокоскоростные центрифуги). С использованием углеродных волокон также целесообразно создание глубоководных бурильных установок для освоения шельфа для присутствия в стратегически важных регионах, например в Арктике [8].

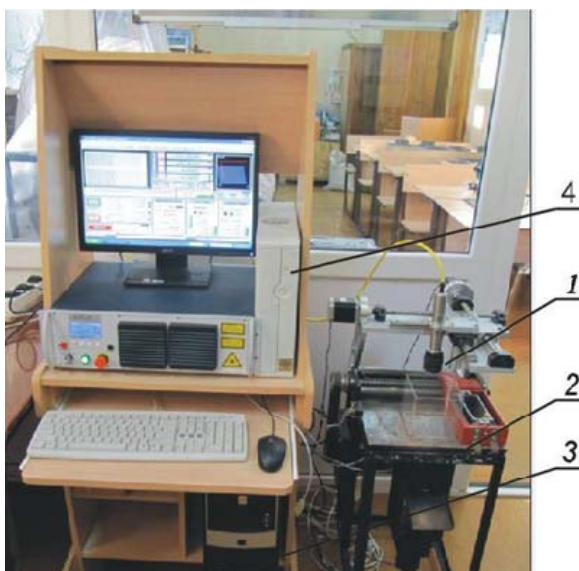


Рис. 3. Установка послыонного лазерного спекания:
1 – лазер, 2 – трехкоординатный стол, 3 – персональный компьютер, 4 – система ЧПУ

Углеродный композит – материал XXI века, обладающий сверхпрочностью, высокой жесткостью и малой массой, благодаря чему они вызывают интерес у военных. А так же он лёгок и обладает превосходными показателями прочности и модуля упругости при растяжении, что ведет к растущей потребности в облегченных материалах, позволяющих более эффективно использовать энергию и решать экологические проблемы.

Литература.

1. Конкин А.А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы. – М.: Химия, 1974.
2. Углеродное волокно. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://megabook.ru/article/УГЛЕРОДНОЕ%20ВОЛОКНО>
3. Бирбраер Р.А. Технология быстрого прототипирования в современном литейном производстве точных заготовок / Р.А Бирбраер, А.Е. Колмаков, В.В Столповский // Литейное производство. – 2004. – № 4. – С.11-14.

4. S. Kumar. Composites by Rapid Prototyping Technology / S. Kumar, J.-P. Kruth // Materials & Design. – 2009. – P. 1-23.
5. Селективное лазерное спекание. Часть 3. Применение, преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dp.ru/selektivnoe-lazernoe-spekanie-chast-3-primenenie-preimushhestva-i-nedostatki/> – 01.12.2013.
6. Селективное лазерное спекание. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.foto-business.ru/selektivnoe-lazernoe-spekanie.html>
7. Селективное лазерное спекание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://about3d.ru/info/SLS/#>.
8. Использование нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rusnano.com/upload/OldNews/Files/33652/current.pdf>. – 2010.

ДОЛГОЖДАННОЕ ОТКРЫТИЕ: БОЗОН ХИГГСА

Е.П. Теслева, к.ф.-м.н., доц., И.В. Карпионова, студент гр. 17Г20,

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

Один из ключевых вопросов современной физики высоких энергий – подтверждение или опровержение существования теоретически предсказанной экзотичной субатомной частицы, называемой бозоном Хиггса – по сути, единственного недостающего звена Стандартной модели элементарных частиц. По одной из теорий, во время «Большого взрыва» именно бозон Хиггса придал остальным частицам массу. Однако говорить об этом с уверенностью ранее было нельзя, так как для таких расчетов нужно было знать с точностью до 1% массу хиггсовского бозона. Эта элементарная частица «отвечает» за наличие массы всех других элементарных частиц, считается, что все фундаментальные частицы приобретают массу в результате взаимодействия с полем Хиггса.

Стандартной моделью сегодня принято называть теорию, наилучшим образом отражающую наши представления об исходном материале, из которого изначально построена Вселенная. Она же описывает, как именно материя образуется из этих базовых компонентов, и силы и механизмы взаимодействия между ними. Со структурной точки зрения элементарные частицы, из которых состоят атомные ядра (нуклоны), и вообще все тяжелые частицы – адроны (барионы и мезоны) – состоят из еще более простых частиц, которые принято называть фундаментальными. В этой роли настоящему фундаментальных первичных элементов материи выступают кварки. Самые распространенные и легкие кварки называют верхним и нижним и обозначают, соответственно, *u* (от английского *up*) и *d* (*down*). Иногда их же называют протонным и нейтронным кварком по причине того, что протон состоит из комбинации *uud*, а нейтрон – *udd* [1]. Поскольку протон состоит из двух верхних и одного нижнего, а нейтрон – из одного верхнего и двух нижних кварков, суммарный заряд протона и нейтрона получается строго равным 1 и 0, поэтому Стандартная модель адекватно описывает реальность. Кварки из второй пары называют очарованным – *c* (от *charmed*) и странным – *s* (от *strange*). Третью пару составляют истинный – *t* (от *truth*, или в англ. традиции *top*) и красивый – *b* (от *beauty*, или в англ. традиции *bottom*) кварки. Практически все частицы, предсказываемые Стандартной моделью и состоящие из различных комбинаций кварков, уже открыты экспериментально.

Другой строительный набор состоит из кирпичиков, называемых лептонами. Самый распространенный из лептонов – давно нам знакомый электрон, входящий в структуру атомов, но не участвующий в ядерных взаимодействиях, ограничиваясь межатомными. Помимо него (и парной ему античастицы-позитрон) к лептонам относятся более тяжелые частицы – мюон и тау-лептон с их античастицами. Кроме того, каждому лептону сопоставлена своя незаряженная частица с нулевой (или практически нулевой) массой покоя; такие частицы называются, соответственно, электронное, мюонное или таонное нейтрино.

Лептоны, подобно кваркам, также образуют три «семейных пары». Такая симметрия не ускользнула от наблюдательных глаз теоретиков, однако убедительного объяснения ей до сих пор не предложено. Как бы то ни было, кварки и лептоны представляют собой основной строительный материал Вселенной.

Силловые взаимодействия между частицами происходят посредством обмена частицами-переносчиками этих взаимодействий. Таких взаимодействий четыре: сильное (именно оно удерживает кварки внутри частиц), электромагнитное, слабое (именно оно приводит к некоторым формам радиоактивного распада) и гравитационное, электромагнитное взаимодействие ответственно за взаимодействие между заряженными частицами, гравитационное – объектами обладающими массой. Переносчиками сильного взаимодействия являются глюоны, не обладающие ни массой, ни электрическим зарядом. Электромагнитное взаимодействие происходит посредством обмена квантами электромагнитного излучения, которые называются фотонами и также лишены массы. Слабое взаимодействие, напротив, передается массивными векторными или калибровочными бозонами, которые «весят» в 80-90 раз больше протона, – в лабораторных условиях их впервые удалось обнаружить лишь в начале 1980-х годов. Наконец, гравитационное взаимодействие передается посредством обмена не обладающими собственной массой гравитонами – этих посредников пока что экспериментально обнаружить не удалось.

В рамках Стандартной модели первые три типа фундаментальных взаимодействий удалось объединить, и они более не рассматриваются по отдельности, а считаются тремя различными проявлениями силы единой природы. Силы, действующие во Вселенной, также сплавляются воедино при высоких энергиях (температурах) взаимодействия, после чего различить их невозможно. Теории, описывающие эти процессы, называют «теориями Великого объединения» (ТВО).

Таким образом, Стандартная модель, в обобщенном виде, представляет собой теорию строения Вселенной, в которой материя состоит из кварков и лептонов, а сильные, электромагнитные и слабые взаимодействия между ними описываются теориями великого объединения. Такая модель, очевидно, не полна, поскольку не включает гравитацию. Предположительно, более полная теория со временем все-таки будет разработана.

Для завершения Стандартной модели была необходима частица, ответственная за наличие массы у всех элементарных частиц. Поиском подобной частицы занимались три группы ученых: в 1962 году бельгийцы Роберт Бруот и Франсуа Энглерт показали, как может работать механизм образования массы; англичане Карл Хаген, Джеральд Гуральник и Том Киббл выступают с аналогичными идеями. Но именно в октябре 1964 года 35-летний английский физик-теоретик Питер Хиггс публикует статью, в которой предсказывает частицу, ответственную за массу всех элементарных частиц. По его теории, масса появилась благодаря полю («морю») сложно обнаружимых микрочастиц – бозонов, размеры которых гораздо меньше элементарных частиц и которые придают этим элементарным частицам массу, «приклеиваясь» к ним. Что же все это значит? Все просто и сложно одновременно – если бы не существовало поля бозонов, то элементарные частицы вроде кварков и электронов не имели бы массы в состоянии покоя, т.е. не существовало бы атомов, из которых состоит вся материя Вселенной, включая нас с вами. Данный бозон в последствии получил название бозон Хиггса.

Почему же бозон Хиггса стали называть «частицей Бога»? Почти два десятилетия назад физик Национальной ускорительной лаборатории имени Энрико Ферми, нобелевский лауреат Леон Ледерман в своей книге в шутку назвал бозон Хиггса «частицей Бога», и это название приклеилось к бозону, хотя по началу он хотел назвать его «проклятой частицей», но этот вариант был опровергнут редактором [2, 3].

Что бы понять, что такое хиггсовское поле и сам бозон Хиггса, приведем самый простой для наглядности пример: представьте вечеринку в зале, равномерно заполненную людьми, болтающими друг с другом. Тут в зал входит знаменитость, и все люди устремляются к ней для общения, не давая проходу. Вследствие чего у перемещающейся знаменитости появляется дополнительная масса – это аналогия приобретенной частицей массы, движущейся сквозь хиггсовское поле. Теперь представим, что один из участников вечеринки появился в дверях и что-то сказал рядом стоящему человеку. Таким образом, слух начал распространяться от одного к другому, в результате чего получилась «волна». Слух, передающийся по цепочке и притягивающий к себе соседей – это аналог бозона Хиггса.

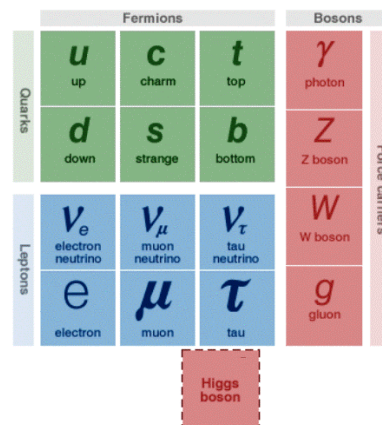


Рис. 1 Стандартная модель

Обнаружение бозона Хиггса и экспериментальное подтверждение теории «Стандартной модели взаимодействия элементарных частиц» было одной из целей создания Большого адронного коллайдера – самого большого из существующих на сегодня ускорителя заряженных частиц. Он предназначен для воссоздания условий, бывших во Вселенной на момент Большого взрыва, случившегося 13 миллиардов лет назад.

Поиски бозона Хиггса продолжались несколько лет. И вот, наконец, 4 июля 2012 года на научном семинаре CERN, проходившей в Швейцарии в рамках научной конференции в Мельбурне было сделано сенсационное сообщение. Предварительные результаты экспериментов на детекторах ATLAS и CMS по поиску бозона Хиггса за первую половину 2012 года дают основания полагать, что оба детектора обнаружили частицу, похожую на бозон Хиггса, т.к. она самый тяжелый из всех обнаруженных бозонов. На конференцию были приглашены «авторы» механизма Хиггса: Питер Хиггс, Роберт Бруот, Франсуа Энглерт, Карл Хаген, Том Киббл и Джеральд Гуральник [4].

Возникает вопрос: какая польза от открытия бозона Хиггса? Если мы вспомним открытия величайших ученых прошлого – Фарадея и его исследований электромагнитного поля, Максвелла с теорией электромагнитных взаимодействий, то вряд ли они могли предположить, что их труды приведут к созданию компьютеров, мобильных телефонов, электроприборов и т. п. Поэтому открытие бозона Хиггса – это своеобразная дверь в тайны устройства Вселенной, новый путь, который будет исследоваться физиками-теоретиками в ближайшие 100 лет.

По состоянию на конец XX века все предсказания Стандартной модели подтверждались экспериментально с очень высокой точностью. Долгое время считалось, что для торжества Стандартной модели необходимо открыть ее последнюю частицу – «частицу Бога». В последнее время стали появляться результаты, в которых предсказания Стандартной модели слегка расходятся с экспериментом, и даже явления, крайне трудно поддающиеся интерпретации в её рамках. Очевидно, что Стандартная модель не может являться последним словом в физике элементарных частиц, ибо она содержит слишком много внешних параметров, а также не включает гравитацию. Поэтому поиск отклонений от Стандартной модели (так называемой «новой физики») – одно из самых активных направлений исследования на Большом адронном коллайдере.

Литература.

1. Ипатов П. А. Общая теория взаимодействий [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: www.b-i-o-n.ru/theory/stroenie-fisicheskogo-vakuuma/proton/.
2. В ЦЕРНе заявили, что «поймали» «частицу Бога» // Файл.РФ. [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://file-rf.ru/news/8114>
3. P. W. Higgs. Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons // Phys. Rev. Lett.– 1964. – Vol. 13. P. 508–509.
4. Физики объявили, что нашли частицу, похожую на бозон Хиггса // Газета.RU. [электронный ресурс] – Режим доступа. http://www.gazeta.ru/science/2012/07/04_a_4663465.shtml.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЯХ

*А.Л. Игешева, В.В. Литвиненко, студенты гр. 10730, Э.Г. Соболева, к.ф.-м.н., доц.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 64432
E-mail: sobolevaeno@mail.ru*

Рентгенологические обследования являются одними из наиболее распространенных в современной медицине. Рентгеновское излучение используется для получения простых рентгеновских снимков костей и внутренних органов, флюорографии, в компьютерной томографии, в ангиографии и пр.

Исходя из того 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. Нам необходимо было разобраться: так ли это на самом деле?

Рентгеновские лучи являются видом электромагнитного излучения, другими формами которого являются свет или радиоволны. Характерной особенностью рентгеновского излучения является

очень короткая длина волны, что позволяет этому виду электромагнитных волн нести большую энергию и придает ему высокую проникающую способность. В отличие от света, рентгеновские лучи способны проникать сквозь тело человека («просвечивать его»), что позволяет врачу рентгенологу получить изображения внутренних структур тела человека. Медицинские исследования рентгеновскими лучами (рентгенологические исследования) во многих случаях предоставляют важную информацию о состоянии здоровья обследуемого человека и помогают врачу поставить точный диагноз в случае целого ряда сложных заболеваний.

Большая проникающая способность и энергия рентгеновских лучей делают их довольно опасными для организма человека. Рентгеновское излучение является одним из наиболее распространенных видов радиации. Во время прохождения через организм человека рентгеновские лучи взаимодействуют с его молекулами и ионизируют их. Говоря проще, рентгеновские лучи способны «разбивать» сложные молекулы и атомы организма человека на заряженные частицы и активные молекулы.

Цель исследования: оценить дозу облучения при рентгенологических обследованиях с помощью дозиметра марки «Грач». Влияние рентгеновских лучей на организм человека зависит от их интенсивности и времени облучения. Произведение интенсивности излучения и его продолжительности представляет дозу облучения. Для того чтобы оценить дозу облучения перед нами были поставлены задачи:

- изучить устройство и принцип работы дозиметра марки «Грач»;
- определить средние эффективные дозы за процедуру при рентгенологических обследованиях;
- соотнести полученные результаты измерений с максимально допустимыми нормами.

Единица измерения дозы общего облучения человеческого тела это *миллиЗиверт* (мЗв). Также, для измерения дозы рентгеновского излучения используются и другие единицы измерения, включая рад, рем, Рентген и Грей. Разные ткани и органы организма человека обладают различной чувствительностью к облучению, в связи с чем, риск облучения различных частей тела в ходе рентгенологического обследования значительно варьирует. Термин *эффективная доза* используется в отношении риска облучения всего тела человека. Например, при рентгенологическом обследовании области головы, другие части тела практически не подвергаются прямому воздействию рентгеновских лучей. Однако, для оценки риска представленного здоровью пациента рассчитывается не доза прямого облучения обследуемой зоны, а определяется доза общего облучения организма – то есть, эффективная доза облучения. Определение эффективной дозы осуществляется с учетом относительной чувствительности разных тканей, подверженных облучению.

В одной из больниц нашего города не без помощи медицинского персонала и пациентов были получены средние эффективные дозы облучения за процедуру, которые представлены в таблице 1. Показания мощности дозы гамма-излучения получали с помощью прибора марки «Грач» на одинаковом расстоянии 1 м от земли, в горизонтальном положении при величине относительной погрешности не более 12 %. Стоит отметить, что измерения производились только в момент включения переключателя рентген-аппарата.

Из таблицы 1 видно, что наибольшая эффективная доза за процедуру была получена при рентгене таза и бедер, а наиболее безопасная процедура – для челюстно-лицевой области и зубов. Согласно современным подсчетам, облучение от одного рентгена грудной клетки примерно равняется количеству радиации, получаемой в обычных жизненных условиях за 10 дней. Согласно санитарным правилам и нормативам СанПиН 2.6.1.1192-03 для практически здоровых лиц годовая эффективная доза при проведении профилактических медицинских рентгенологических процедур и научных исследований не должна превышать 1 мЗв (0,001 зиверта).

В случае рентгеновского излучения, носителем радиации являются электромагнитные волны, которые исчезают сразу после выключения рентгеновского аппарата и не способны накапливаться в организме человека, как это происходит в случае различных радиоактивных химических веществ (например, радиоактивный йод). В связи с тем, что действие рентгеновского излучения на организм человека заканчивается сразу после завершения обследования, а сами по себе лучи не накапливаются в организме человека и не приводят к образованию радиоактивных веществ, никаких процедур или лечебных мероприятий для «вывода радиации из организма» после рентгена проводить не нужно. В таблице 2 приведено количество рентгенограмм за 2013 год для разных органов человека.

Таблица 1

Средние эффективные дозы облучения за процедуру	
Органы или части тела	Оцененное значение средней индивидуальной дозы пациента мЗв/процедуру
Органы грудной клетки	0,3
Конечности, плечевой сустав	0,01
Шейные позвонки	0,2
Грудные позвонки	0,5
Поясничные позвонки	0,7
Таз и бедро	0,9
Ребра и грудина (ключица)	0,8
Нос, череп, лор органы, скуловая, височная кость	0,1
Челюстно-лицевая область, зубы	0,04
Почки, мочеполовая система	0,6

Таблица 2

Рентгенодиагностические исследования (без профилактических исследований) за 2013 год	
Наименование органов и систем	Количество рентгенограмм
Органы грудной клетки	2191
Конечности, плечевой сустав	15120
Шейные позвонки	
Грудные позвонки	
Поясничные позвонки	
Таз и бедро	12800
Ребра и грудина (ключица)	
Нос, череп, лор органы, скуловая, височная кость	4834
Челюстно-лицевая область, зубы	
Почки, мочеполовая система	205
Всего	35150

Из таблицы 2 следует, что большинство пациентов обращалось в рентген-кабинет за рентгенодиагностическим исследованием конечностей, плечевого сустава, шейных и грудных позвонков. Стоит отметить, что рентгенологические исследования являются далеко не единственным источником радиации для человека. Люди подвергаются постоянному воздействию радиоактивного излучения (в том числе и в виде рентгеновских лучей) происходящего из различных источников, например, таких как радиоактивные металлы в почве и космическая радиация.

Как и многие другие медицинские процедуры, рентгеновское исследование не представляет опасности, при осторожном и рациональном использовании. Врачи рентгенологи обучены использовать минимальную дозу облучения, необходимую для получения нужного результата. Количество радиации, используемой в большинстве медицинских обследований очень маленькое, а польза от обследования практически всегда значительно превышает риск данной процедуры для организма.

Таким образом, из нашего исследования вытекают следующие выводы:

- полученные в результате исследования средние эффективные дозы облучения за процедуру не превышают санитарным правилам и нормативам СанПиН;
- решение о проведение рентгенологического исследования должно иметь медицинское обоснование;
- рентгеновские лучи действуют на организм человека только в момент включения переключателя аппарата;
- рентгеновское исследование не представляет опасности, при осторожном и рациональном использовании.

Литература.

1. СанПиН 2.6.1.1192-03. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований.
2. МУК 2.6.1.962-00. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях.

КВАРКОВАЯ МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ МАТЕРИИ

*Е.П. Теслева, к.ф.-м.н., доц., Н.С. Гринченкова, студент гр. 17Г20,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Загадочное слово «кварки» вот уже тридцать с лишним лет будоражит мир науки. Физики сами придумали эту «частицу из частиц» – самый мельчайший, изначальный «кирпичик» мироздания. В отличие, скажем, от электрона или протона, у которых заряд равен единице, у кварков он должен быть дробным – составлять от нее какую-то часть и, следовательно, из кварков, как из «кирпичиков», могут состоять самые разные элементарные частицы. Идея кварков была столь заманчивой, что их искали в космосе и на земле. Не раз уже высказывалось мнение, что в природе кварков нет. Но ставились новые эксперименты и наука сталкивалась с явлениями, объяснить которые можно было, лишь согласившись, что кварки существуют [1].

Древние греки, Левкипп и Демокрит первыми выдвинули предположение, что все вокруг нас состоит из маленьких частиц – атомов (от др.- греч. ἄτομος – неделимый). В течение последних нескольких сотен лет физики обнаружили, что атомы не являются твердыми и не делимыми и несколько раз менялись представления о строении атома. Еще несколько десятилетий назад физики считали, что существует более двухсот элементарных частиц. Однако дальнейшие исследования показали, что природа гораздо более экономна в своих свершениях; многие частицы, считавшиеся элементарными, оказались составными. Среди современных теорий строения материи можно выделить кварковую теорию, теорию струн, теорию суперструн.

Согласно *кварковой теории* все частицы класса адроны состоят из еще более мелких частиц – кварков. Согласно теории струн, в основе мироздания лежат не микрочастицы, а струны, столь микроскопические, что их возможно только вычислить. Видимые микрочастицы – это порождение вибраций этих струн (Альберт Эйнштейн, Эдвард Виттен, Стивен Вайнберг). Эволюция теории струн привела к формированию теории суперструн. Необходимость такого преобразования была связана с развитием теории суперсимметрий, которые предполагали определенную симметрию между частицами вещества и поля. Соответственно, поскольку теория струн описывала элементарные частицы, требование суперсимметрии стало необходимым требованием и для струнной теории. Суперструны существуют в 10-мерном пространстве-времени. Для того чтобы с помощью теории суперструн описать Вселенную, нужно связать между собой 10-мерное и 4-мерное (3 пространственные и одна временная координаты, которые подвластны человеческому восприятию) пространства. Для этого 6 дополнительных измерений сворачивают до очень маленького размера. В итоге получается привычное нам 4-мерное пространство, каждой точке которого отвечает крохотное 6-мерное пространство (Брайан Грин, Джон Шварц).

Наиболее активно развиваемой в настоящее время считается кварковая теория строения материи. Кварковая модель строения адронов была впервые выдвинута М. Гелл-Манном и, независимо от него, Дж. Цвейгом в 1964. Слово «кварк» было заимствовано Гелл-Манном из романа Дж. Джойса «Поминки по Финнегану», где в одном из эпизодов звучит фраза «Три кварка для мистера Марка!». Само слово «quark» в этой фразе предположительно является звукоподражанием крику морских птиц. Дж. Цвейг называл их тузами, но данное название не прижилось и забылось – возможно, потому, что тузов четыре, а кварков в первоначальной модели было три (u, d, s) [2].

Таблица 1

Свойства кварков						
	Название рус.	Символ (аромат)	Название	Заряд e	Масса, m	Спин
Первое поколение	верхний	u	up	+2/3	~ 3МэВ/c ²	1/2
	нижний	d	down	-1/3	~ 5МэВ/c ²	1/2
Второе поколение	очарованный	c	Charm (charmed)	+2/3	1,8 ГэВ/c ²	1/2
	странный	s	strange	-1/3	95 ± 25МэВ/c ²	1/2
Третье поколение	истинный	t	truth (top)	+2/3	171 ГэВ/c ²	1/2
	прелестный	b	Beauty (bottom)	-1/3	4,5 ГэВ/c ²	1/2

Современная кварковая модель содержит 6 типов (ароматов) кварков: up (верхний), down (нижний), charm (очарованный), strange (странный), top (истинный). Кварки делятся на 3 семейства (поколения), отличающиеся только массой и ароматом. В отличие от других элементарных частиц, кварки имеют дробный электрический заряд, и участвуют во всех фундаментальных взаимодействиях, включая электромагнитное, слабое, сильное и гравитационное. Кварки верхнего ряда (u, c, t) имеют электрический заряд $q = +2/3e$, нижнего ряда (d, s, b) имеют электрический заряд $q = -1/3e$, где e – абсолютная величина заряда электрона. Следует отметить, что до кварковой теории считалось, что в природе не может существовать заряд меньше заряда электрона. Кварк каждого типа имеет три цветовых состояния (красный, синий и зеленый), хотя к обычному цвету это не имеет отношения. Кварки никогда не встречаются поодиночке, а только внутри связанных состояний, которые обязательно должны быть «бесцветны». Это означает, что хотя они могут быть внутри адронов, но при распаде частиц кварки каким-то образом комбинируются так, что в результате в продуктах распада видны не кварки, а только какие-то элементарные частицы. Данную ситуацию описывают как конфайнмент, то есть удержание кварков внутри адронов. Вследствие ненаблюдаемости кварков все их свойства определяются путём расчётов косвенным путём через свойства адронов [3].

U-кварк и d-кварк имеют наименьшие массы среди кварков, а самыми тяжелыми являются b и t кварки. Так, например, топ-кварк в 173 раза тяжелее, чем протон. Пробирка, наполненная t-кварками будет весить столько же, сколько земной шар. Каждый кварк имеет антикварк.

Первая странная частица т.е. частица, содержащая странный кварк – каон – была открыта ещё в 1947 г., но сам s-кварк не был известен, пока Гелл-Манн и Цвейг не разработали кварковую модель в 1964 г. Первые экспериментальные доказательства существования нижнего кварка, были получены в 1967 г., верхнего – в 1968 г. в Национальной ускорительной лаборатории SLAC (Стэнфордский центр линейного ускорителя, США). С-кварк был предсказан в 1970 г. Шелдоном Глэшоу, Джоном Илиопулосом и Лучано Майяни и впервые зарегистрирован в 1974 г. в SLAC группой, которой руководил Бёртон Рихтер, и в BNL группой, которой руководил Сэмюэл Чао Чунг Тинг. В-кварк был открыт в 1977 году в лаборатории Фермилаб, руководитель эксперимента – Леон Ледерман и др. Т-кварк был открыт в 1995 году в экспериментах на коллайдере Теватрон в американской лаборатории Фермилаб. До запуска Большого адронного коллайдера Теватрон был единственным в мире экспериментальным комплексом, где могла родиться пара t-кварков.

Согласно кварковой модели все адроны состоят из кварков. Мезоны состоят из кварка и антикварка, символически $M = (q\bar{q})$; а барионы – из трех кварков, символически $B = (qqq)$. Кварковый состав некоторых адронов приведен в таблице 2. Из трех кварков можно построить нуклоны, т.е. протон и нейтрон: $p=(uud)$, $n=(udd)$ [4].

Таблица 2

Кварковый состав адронов

Комбинация кварков	Название
uud	Протон
udd	Нейтрон
uds	Сигма ноль
dds	Сигма минус
uus	Сигма плюс
uss	Кси ноль
dss	Кси минус
uds	Лямбда

Дальнейшее развитие кварковой теории привело к формированию нового раздела в физике – квантовой хромодинамики – теории сильных взаимодействий кварков. В 1973 г. почти одновременно появились три статьи разных авторов, предположивших, что сильное взаимодействие между кварками осуществляется безмассовыми частицами. Одна из этих статей была написана А. Саламом и И. Пати, другая – М. Гелл-Манном, Р. Фричем и Г. Лейтвиллером, третья – С. Вайнбергом. Частицы, осуществляющие сильное взаимодействие, названы глюонами (от англ. glue – клей). Они играют роль, аналогичную роли фотонов в электродинамике.

В 1974 году Джогешем Пати и Абдусом Саламом впервые было использовано название «преоны» – гипотетические элементарные частицы, из которых могут состоять кварки и лептоны. Пик

интереса к преонным моделям приходился на 80-е годы XX века, после чего этот интерес заметно спал, так как многие из этих моделей противоречили экспериментальным данным, полученным на ускорителях. В последние годы оптимизм в отношении теории струн начал несколько иссякать, что и возродило интерес к преонным моделям.

В заключение хотелось бы отметить, что физика не стоит на месте, особенно физика элементарных частиц. Эта одна из молодых областей знания, поэтому многие открытия еще впереди. Она поможет глубже понять строение мира и откроет перед человечеством новые горизонты знания.

Литература.

1. По следам кварков // Библиотекарь.ru [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.bibliotekar.ru/evrika/5-4.htm>
2. Намбу Е. Кварки. М.: Мир, 1984. 225 с.
3. Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. М.: URSS, 2013. 352 с.
4. Славятинский С. А. Фундаментальные частицы // Научная сеть [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1184530&uri=text3.html>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДОМ ЛАПЛАСА И ОТРЫВА ПЛАСТИНЫ

Е.П. Теслева, к.ф.-м.н., доц., И.В. Карпионова, студент гр. 17Г20

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

В природе наряду с силами тяготения, трения, упругости есть менее заметные, но не менее важные силы – силы поверхностного натяжения. Силы эти сравнительно невелики, их действия никогда не вызывают мощных эффектов. Тем не менее, мы не можем налить воды в стакан, вообще ничего не можем проделать с какой-либо жидкостью без того, чтобы не привести в действие силы поверхностного натяжения.

Цель нашей работы состоит в исследовании поверхностного натяжения жидкостей.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить физические основы явления поверхностного натяжения.
2. Проанализировать методы определения поверхностного натяжения жидкостей.
3. Произвести оценку поверхностного натяжения методом Лапласа и отрыва пластины разных жидкостей.

Поверхностное натяжение является определяющим фактором многих технологических процессов: флотации, пропитки пористых материалов, нанесения покрытий, моющего действия, порошковой металлургии, пайки и др. Велика роль поверхностного натяжения в процессах, происходящих в невесомости. Очень разнообразна роль поверхностных явлений в жизни живой природы [1-3].

Существующие методы определения поверхностного натяжения делятся на три группы: статические, полустатические и динамические.

Статическими методами определяется поверхностное натяжение практически неподвижных поверхностей, образованных задолго до начала измерений и поэтому находящихся в равновесии с объемом жидкости. К этим методам относится метод капиллярного поднятия и метод лежащей или висящей капли (пузырька), метод Лапласа.

Полустатическими называются методы определения поверхностного натяжения границы раздела фаз, возникающей и периодически обновляемой в процессе измерения (метод максимального давления пузырька и сталагмометрический метод), а также методы отрыва кольца и метода втягивания пластины. Эти методы позволяют определить равновесное значение поверхностного натяжения, если измерения производятся в таких условиях, что время, в течение которого происходит формирование поверхности раздела, значительно больше времени установления равновесия в системе.

Динамические методы основаны на том, что некоторые виды механических воздействий на жидкость сопровождаются периодическими растяжениями и сжатиями ее поверхности, на которые влияет поверхностное натяжение. Этими методами определяется неравновесное значение. К динамическим методам относятся методы капиллярных волн и колеблющейся струи [3].

В качестве методов экспериментального определения коэффициента поверхностного натяжения нами были выбраны статический метод Лапласа и полустатический метод отрыва пластины. В лаборатории физики специально для экспериментов были сконструированы две установки. Проверка

установок производилась с помощью дистиллированной воды, коэффициент поверхностного натяжения которой известен.

Метод Лапласа. Установка состояла из жидкостного манометра, капилляра, пробирки и крана. В качестве рабочих жидкостей мы использовали не маслянистые жидкости: дистиллированную воду, питьевую минеральную столовую воду «Сибирянка», солевой раствор NaCl (с=24%), муравьиный спирт.

Таблица 1

Поверхностное натяжение дистиллированной воды (метод Лапласа)
($\rho=748$ мм.рт. ст., $t=25^\circ\text{C}$)

№ п/п	H, 10^{-3} м	σ , 10^{-3} Н/м	$\sigma_{\text{ср}}$, 10^{-3} Н/м	$\Delta\sigma$, 10^{-3} Н/м	ε , %
1	7	65,1	72,54	4,464	5,4
2	7	65,1			
3	8	74,4			
4	8	74,4			
5	8	74,4			
6	9	83,7			
7	7	65,1			
8	8	74,4			
9	8	74,4			
10	8	74,4			

Метод отрыва пластины. Установка состояла из рычажных весов, тонкой металлической пластины и шприца. В качестве рабочих жидкостей мы использовали: дистиллированную воду, питьевую минеральную столовую воду «Сибирянка», солевой раствор NaCl (с=24%), муравьиный спирт, керосин, растительное масло, глицерин. Результаты измерений для дистиллированной воды приведены в таблицах 1 и 2. Абсолютную погрешность измерений рассчитывали методом среднего арифметического. Наблюдается хорошее согласие результатов полученных двумя методами, например: дистиллированная вода – 72,70 и 72,54 Н/м; «Сибирянка» – 76,71 и 80,91 Н/м; муравьиный спирт – 43, 08 и 37,2 Н/м.

Таблица 2

Поверхностное натяжение дистиллированной воды
(метод отрыва пластины) ($\rho=748$ мм.рт. ст., $t=25^\circ\text{C}$)

№ п/п	V, 10^{-6} м ³	$m_{\text{в}}$, 10^{-3} кг	σ , 10^{-3} Н/м	$\sigma_{\text{ср}}$, 10^{-3} Н/м	$\Delta\sigma$, 10^{-3} Н/м	ε , %
1	0,52	0,52	74,42	72,70	1,716	2,7
2	0,50	0,50	71,56			
3	0,54	0,54	77,28			
4	0,49	0,49	70,13			
5	0,51	0,51	72,99			
6	0,49	0,49	70,13			
7	0,50	0,50	71,56			
8	0,50	0,50	71,56			
9	0,51	0,51	72,99			
10	0,52	0,52	74,42			

Кроме того, была получена температурная зависимость поверхностного натяжения для дистиллированной воды. Нами также были проанализированы методы изменения поверхностного натяжения жидкости. Для этого мы добавляли соль и мыльный раствор в дистиллированную воду (рис.1).

Таким образом, в процессе выполнения данной работы:

- изучили физику данного явления;
- познакомились с методами определения поверхностного натяжения жидкостей (метод Лапласа; метод отрыва пластины);
- экспериментально определили коэффициент поверхностного натяжения для различных жидкостей, сравнив их с табличными значениями.

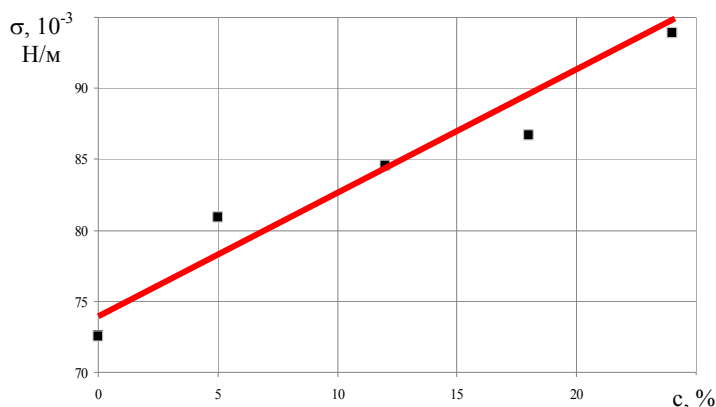


Рис. 1. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды от концентрации поваренной соли

Опираясь на результаты проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

1. Из исследованных нами жидкостей самый высокий показатель поверхностного натяжения у солевого раствора, а самый низкий – у растительного масла.
2. Увеличение температуры жидкости ведёт к уменьшению её поверхностного натяжения.
3. Введение примесей в жидкость приводит к изменению поверхностного натяжения. Увеличение концентрации соли приводит к увеличению поверхностного натяжения жидкости, мыльного раствора – к уменьшению.

Литература.

1. Хайдаров Г.Г., Хайдаров А.Г., Машек А.Ч. Физическая природа поверхностного натяжения жидкости // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4 (Физика, химия). 2011. Выпуск 1. с.3-7.
2. Элементарный учебник физики: Учебное пособие. В 3 т./ Под ред. Г.С. Ландсберга: Т. 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика – 13-е изд. – М.: Физматлит, 2003. — 608 с.
3. Поверхностное натяжение [Электронный ресурс] – URL: http://www.physbook.ru/index.php/SA._Поверхностное_натяжение

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ ДОСКИ

Е.П. Теслева, к.ф.-м.н., доц., П.Д. Сорокин, А.А. Телицын, студенты гр. 17Г30

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

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

В течение последних лет произошли большие изменения в материально-техническом оснащении высших учебных заведений нашей страны. Аудитории, оснащенные аудиовизуальными и интерактивными средствами, способны активизировать интерес к процессу обучения, повысить наглядность и улучшить усвоение преподаваемых материалов. Внедрение передовых информационно-коммуникационных, аудиовизуальных и интерактивных технологий – это способ передать студентам необходимые знания и навыки для достижения эффективности в динамической глобальной среде, в которой приходится действовать сегодняшнему выпускнику [1]. Интерактивная доска – это удобный современный инструмент для эффективного проведения учебных занятий, семинаров, деловых презентаций и совещаний. Но так ли безопасно использование интерактивной доски?

Цель работы: Исследование электромагнитного излучения интерактивных досок в ЮТИ ТПУ.

Задачи: 1. Изучить строение и принцип работы интерактивных досок.

2. Произвести оценку уровня электромагнитного излучения интерактивных досок в ЮТИ ТПУ.

3. Произвести оценку уровня электромагнитного излучения в зависимости от расстояния от источника.

Интерактивная доска – это сенсорный экран, подсоединенный к компьютеру, изображение с которого передает на доску проектор. Специальное программное обеспечение для интерактивных досок позволяет работать с текстами и объектами, аудио- и видеоматериалами, Интернет-ресурсами, делать записи от руки прямо поверх открытых документов и сохранять информацию. Интерактивная доска позволяет использовать традиционные чертежные инструменты (линейку, транспортир, угольник) для различных построений [2].

Интерактивные доски могут быть прямого или обратного проецирования. При прямом проецировании проектор находится перед поверхностью интерактивной доски, при обратном проецировании – сзади. Отдельные модели интерактивных досок могут быть оснащены специальными карманными компьютерами для обмена данными с интерактивной доской. Более дорогие модели интерактивных досок не используют проектор, а представляют собой большую сенсорную плазменную панель. Интерактивные доски делятся на активные и пассивные. Активную электронную доску необходимо подключить к источнику питания и к компьютеру с помощью проводов. Пассивная электронная доска не содержит в своей поверхности никаких датчиков и не нуждается в подключении к компьютеру или проектору. Выделяют следующие виды технологий интерактивных досок: сенсорная аналого-резистивная технология (активная), электромагнитная технология (активная), лазерная технология (пассивная), ультразвуковая и инфракрасная технологии (пассивная), микроточечная технология (пассивная), оптическая технология (пассивная) [3, 4].

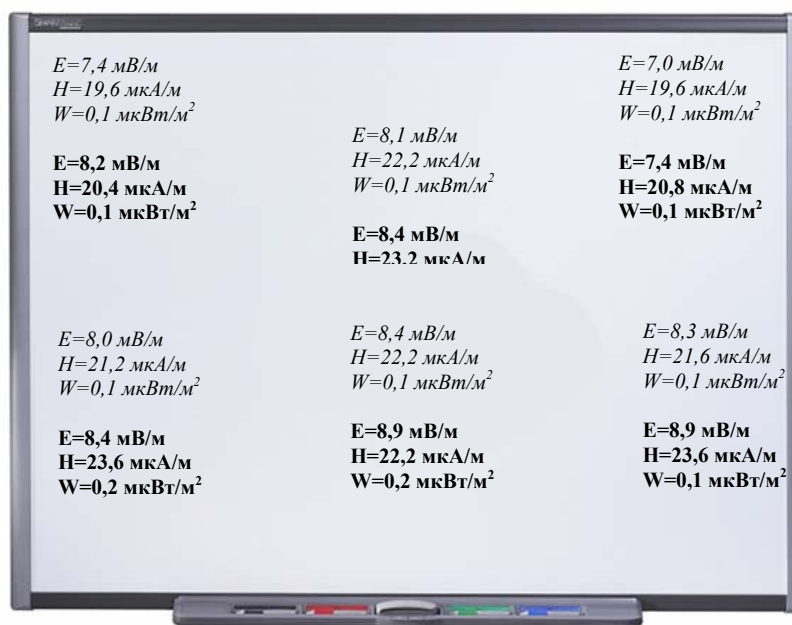


Рис. 1. Результаты замеров электромагнитного излучения интерактивной доски в 1 корпусе аудитории № 6 (курсивом выделены фоновые значения): E – напряженность электрического поля, H – напряженность магнитного поля, W – плотность потока мощности энергии

По сведениям центра информации ЮТИ ТПУ в нашем институте используется 54 проектора и 4 интерактивные доски. Доски расположены: во втором корпусе (аудитории №8 и 11, модель SMART Board 680 и 480), в первом корпусе (аудитория №6, модель SMART Board 680), в шестом корпусе (аудитория №7, модель SMART Board 680). Технология работы данной доски, основана на принципе сенсорной аналого-резистивной матрицы, являющейся самой распространенной в мире. Такие доски просты в использовании, надежны, вандалоустойчивы и не содержат каких-либо специальных приспособлений, которые могут потеряться или сломаться. Данные серии используют специальную антибликовую поверхность, существенно улучшающую качество графики.

Измерение уровня электромагнитного излучения мы проводили при помощи прибора АТТ/2592. Это прибор, предназначенный для мониторинга и проведения изотопных (ненаправленных) измерений параметров высокочастотных электрических и магнитных полей. При помощи данного прибора можно измерить напряженность электрического и магнитного полей, а так же плотность потока мощности энергии указанных полей интерактивных досок. Измерения проводились в

плоскости доски в 6 точках, а так же при удалении от доски с шагом в 10 см не менее 3 раз. Анализ результатов показал, что средние значения всех параметров не превышают предельно допустимых значений установленных санитарными правилами и нормами (СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96) [5]. В плоскости доски значения изменяемых параметров превышает фоновые не более чем на 10%. При этом величина их незначительно падает при увеличении расстояния. График зависимости измеряемых величин от расстояния представлены в табл. 1. Наибольшее значение электромагнитного фона отмечается во втором корпусе в аудитории №8. Это связано с тем, что доска в данной аудитории эксплуатируется дольше всего. Количественные значения характеристик электромагнитного поля для интерактивной доски ниже, чем для проектора и компьютера, являющихся необходимыми составляющими мультимедийного оборудования.

В результате исследования установлено, что средние значения электромагнитного излучения интерактивной доски не превышают предельно допустимых. Однако использование интерактивной доски увеличивает зрительную нагрузку, что можно рассматривать, как фактор риска ухудшения зрения у студентов и преподавателей, особенно при неправильной (низкой) установке проектора.

Таблица 1

Электромагнитное излучение интерактивной доски
в 1 корпусе аудитория № 6

Расстояние, см	E, мВ/м	H, мА/м	W, мВт/м ²
0	8,5	23,2	0,1
10	8,4	22,6	0,1
20	8,0	21,6	0,1
30	8,0	20,6	0,1
40	7,6	20,6	0,1
50	7,4	20,4	0,1
60	7,4	20,1	0,1
70	7,2	20,1	0,1
80	7,2	20,0	0,1
90	7,0	20,0	0,1
100	7,0	19,6	0,1

Литература.

1. Мультимедийные помещения для организации учебного процесса // Delight 2000 [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: http://www.d2k.ru/solutions/uchebnye_auditorii/.
2. Как работает интерактивная доска.// Interaktiveboard [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://interaktiveboard.ru/publ/7-1-0-8>.
3. Как выбрать интерактивную доску // Delight 2000 [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.delight2000.com/about/publication/kak-vybrat-interaktivnuyu-dosku/>.
4. Что такое интерактивная доска // Technofresh [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://technofresh.ru/techno-business/techno-reshenie/interactive-boards.html>.
5. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».

ФИЗИКА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е.В. Полицинский, к.пед.н., доц. каф. ЕНО

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)6-44-32

E-mail: ewpeno@mail.ru

Курс общей физики является не просто общеобразовательной основой подготовки современного инженера. Физика является фундаментальной базой для изучения общетехнических и специальных дисциплин, освоения новой техники и технологий, в процессе её изучения особенно эффективно развиваются интеллектуальные способности, формируются не только учебно-познавательные и ин-

формационные, но и профессиональные компетенции. В курсе «Введение в специальность» студентов обычно знакомят с квалификационными характеристиками, перечнем необходимых для успешной инженерной деятельности знаний, умений и навыков. Без преувеличений можно сказать, что основы большинства этих знаний и умений закладываются при изучении физики. Однако в последние десятилетия наметились отрицательные тенденции снижения роли фундаментальной подготовки в инженерном образовании. Это выражается и в том, что с конца 50-х и до начала 90-х годов XX века объем курса физики в технических вузах уменьшился в среднем вдвое, в 90-е и последующие годы продолжалось его дальнейшее сокращение.

Так, например 30 лет назад на изучение физики на всех технических специальностях отводилось не менее 277 аудиторных часов, что с учётом современных пропорций (1:1) с объёмом планируемой самостоятельной работы, даёт в общем 544 часа [6].

Вынужденная перестройка в системе профессионального образования была вызвана экономической ситуацией в стране: молодой инженер-выпускник вуза, в целом, не был востребован. Высшей школе надо было адаптироваться к новым условиям и естественно, должна была измениться структура технического образования.

Все учебные технические дисциплины можно условно разбить на две большие категории: базовое и специальное. Базовые знания, служат инженеру долго, изучение их должно быть основательным, серьезным и неспешным. Они составляют тот фундамент, на котором строятся специальные дисциплины.

Как правило, базовые дисциплины носят интеллектуальный характер. Законы и логические связи между ними, пронизывающие базовый курс, требуют от студента вдумчивой работы значительных затрат времени. Специальные дисциплины чаще всего носят алгоритмический характер, они более оперативны. Они привязаны к технике сегодняшнего дня и конкретные знания, полученные сегодня, завтра уже могут не потребоваться. Казалось бы, в сложившейся ситуации напрашивается логический вывод: расширять базовую компоненту в образовании инженера, отходить от практики узкой специализации. И действительно, фразы о фундаментализации инженерного образования проносятся на всех уровнях, однако на практике идет обратный процесс. Трудно не согласиться с Г.Г. Спириным в том, что средний студент даже на уровне, который называют уровнем минимальной достаточности, при 180 – 220 аудиторных часах физику не освоит. Он отмечает: «Физика – область знания сложная для изучения, она одна из тех немногих учебных дисциплин, которые формируют научное мышление. Невнимание к ней со стороны государства неизбежно приведет к тому, что появится поколение легковесных инженеров, не обученных серьезно думать [9].

Новые учебные планы и рабочие программы по ряду направлений обучения бакалавров в технических вузах предусматривают сокращение аудиторных часов, отводимых на изучение математики и физики, на 40-50%. Это означает, что будущие бакалавры в технических вузах по указанным предметам получат примерно такой же объём знаний, что и в средних технических учебных заведениях. Перед обучающимися в магистратуре в течение двух лет будут стоять новые задачи, связанные с будущей специальностью, и у них не будет времени на углубление и расширение своих знаний по математике и физике [7]. Так, в планах ТПУ по техническим направлениям подготовки на весь курс физики, который будет вестись в двух, вместо трёх как ранее семестрах, на лекционные занятия отведено 72 часа! Всё это, безусловно, не может негативно не отразиться на подготовке кадров по техническим специальностям. Следует отметить, что переход на двухуровневое обучение вначале представлялся в оптимистических тонах: бакалавр-инженер за четыре года получает фундаментальное образование, то есть хорошо знает физику, математику, общетехнические дисциплины (количество отведённых на них аудиторных часов также сокращается). А в отрасли, в соответствии с её запросами, его доучивают узкой специальности. Но на практике всё получается наоборот, абсолютное большинство работодателей заинтересовано в приёме на работу высококвалифицированных кадров и на обучение за счёт собственных средств в условиях жесточайшей конкуренции и перенасыщенности рынка труда лицами имеющими дипломы о высшем образовании не идут.

Нельзя согласиться и с одним из главных доводов в необходимости перехода на двухуровневую подготовку (в связи с подписанием Болонского соглашения) – признания отечественных дипломов за рубежом. Исторически в России высшие технические школы развивались в тесной связи с естественнонаучными факультетами университетов, что гарантировало серьезную фундаментальную подготовку выпускников. Уровень высшего технического образования в России был очень высок, этот факт признавался специалистами всего мира [10, С. 9].

Описанные выше проблемы существенно усугубляются низким уровнем школьной подготовки по физике большинства выпускников школ поступающих в высшие учебные заведения. Сейчас физику на базовом уровне в 10-х, 11-х классах средней школы изучают примерно 90% школьников. Классы с продвинутым, профильным уровнем формируются с большим трудом и существуют, в основном, в больших городах.

Базовый уровень – это два урока в неделю. Естественно, за это ограниченное время научить, или что более правильно – помочь научиться школьнику физике невозможно. Например, на решение задач, без которых обучение неэффективно, у учителя просто не хватает времени. Как отмечают А.Д. Гладун и Г.Г. Спирин в настоящее время широко обсуждается новый проект, в соответствии с которым физика будет изучаться в рамках интегрированного курса естествознание (физика, химия, биология). На все это планируется выделить три урока в неделю. Что касается результатов ЕГЭ по физике. Подход к оценкам, в 2010 году был сверхлиберальным. Надо честно признать, что те 47,6 % школьников, которые в 100-ой системе набрали 34-50 баллов, в привычной пятибалльной системе получили бы двойки. Те же 29,2 % школьников, набравшие 51-60 баллов, балансируют между двойкой и тройкой. Ни те, ни другие, а это 80%, физики не знают и к учебе в техническом вузе не подготовлены. Учащихся набравших более 70 баллов всего 5,6%. Что касается технических вузов, то брак в наборе 2010 года очевиден – по крайней мере, три четверти студентов первокурсников поступили в вуз, практически не зная физики. А при отведённых новыми учебными планами в технических вузах учебных часов на изучение всех разделов физики положение естественно не может быть выправлено. Минобрнауки такая ситуация, по-видимому, не тревожит. Чего стоит его решение альтернативой физики в качестве вступительного экзамена поставить информатику. Так что среди абитуриентов, поступивших в технические вузы есть такие, кто физику вообще не сдавал. Об их знаниях говорить не приходится. Набор в технические вузы провален и это в то время, когда делается ставка на модернизацию страны, то есть науку, промышленность, в первую очередь [3].

Проблема не только в том, что школьники не помнят какие-то формулы или формулировки каких-то законов. Она намного глубже. У школьников не формируется (а это делается в юности) причинно-следственный количественный тип мышления. Физика – основная интеллектообразующая дисциплина. Она организует мозги в правильном направлении. Она трудна, она многим дискомфортна, она создает проблемы (физкабинеты, демонстрации, лабораторные работы). Проще отеснить её на обочину образовательного процесса, превратить её во второразрядную, не нужную большинству дисциплину. На фоне принижения физики, как основной компоненты естественно-научного образования идет процесс «дебилизации» молодежи [3]. В целом идет процесс девальвации инженерного образования. Истоки этого крайне негативного процесса надо искать в школе. В обществе произошло отчуждение от физики и естествознания. Профанация преподавания физики в школе привела к тому, что в представлении школьников физика, по большому счёту, никому не нужна. Тем более что она сложная и непонятная. Это подтверждается фактами. Если на физику в рамках ЕГЭ в 2010 году пришло 177 тысяч школьников, то на обществознание вместе с историей около 500 тысяч. [3].

Конечно, нельзя недооценивать роль самостоятельной работы, однако для её эффективной организации необходимы определённые условия. Очевидным является необходимость отчисления слабых, неспособных студентов. Но отчислять надо много и на это администрации учебных заведений не идут – студентов «тянут от сессии до сессии». Введённая подушевая система оплаты стимулирует не качественные, а количественные (сохранение контингента обучающихся) показатели учебного процесса. При таком положении ставка на приоритет самостоятельной работы оказывается абсурдной. Авторам новых учебных планов следовало бы учесть менталитет российского студенчества, о котором метко и правильно было сказано бывшим Министром образования и науки РФ А. Фурсенко в одном из интервью: «...у нас серьезно учатся в вузах 15-20% студентов, остальные тусуются» [7].

Таким образом, существует противоречие между стоящими на современном этапе задачами подготовки будущих инженеров и отсутствием концепции методической системы обучения физике студентов инженерных вузов, соответствующей современной образовательной парадигме, которая характеризуется такими чертами, как фундаментальность, целостность, ориентация на интересы личности.

Конечно, в методике обучения физики и техники имеется не малый потенциал для их совершенствования, разработки новых более совершенных методов и приёмов обучения. Как отмечает И.Ш. Коган в методике обучения физике и технике существует огромное количество не разрешённых вопросов, существенно осложняющих понимание большинством студентов учебного материала [5]. Вот некоторые из них:

1. Почему общетехнические дисциплины (теоретическая механика, сопротивление материалов, гидравлика, теплотехника, электротехника) предстают перед студентом, как дисциплины, слабо связанные друг с другом, поскольку у них различный набор терминов, различная символика, непохожие друг на друга в записи законы и уравнения?
2. Почему физические величины и их единицы измерений в этих науках так не похожи друг на друга?
3. Как это так получается, что единый для всей природы закон сохранения и превращения энергии каждый раз записывается по-разному?
4. Почему многие теоретические сведения из соседних разделов физики и из разных технических дисциплин плохо стыкуются друг с другом с педагогической точки зрения даже тогда, когда они имеют общие основные положения?
5. Зачем для обозначения родственных, а иногда и одинаковых физических величин применяются различные термины и символы?
6. Почему для некоторых уравнений, имеющих практически одно и то же физическое содержание, применяется различная форма записи?
7. Почему лишь к окончанию вуза до студента начинает доходить, что в мире техники физика на части не делится, что на практике не видно, где кончается механика и начинается электричество? Зато четко выясняется, что вся техника – это прикладная физика и что математика в технику тоже приходит через физику, что хорошему инженеру надо знать физику не по частям, а в целом. Но как же её учить в целом?

Среди основных резервов совершенствования методики преподавания физики И.Ш. Коган выделяет:

- смещение центра тяжести в преподавании от индуктивного метода обучения (от частного к общему) к дедуктивному методу (от общего к частному) в школе и особенно в вузе,
- поиск рациональных критериев соотношения этих двух методов преподавания,
- совместная работа физиков с психологами по поиску рационального по времени периода перехода от одного метода к другому в процессе обучения, особенно в школе,
- строгое соблюдение при обучении принципа причинности (причинно-следственной связи).

Индуктивный метод должен сохранить свою методическую значимость, как метод описания фактов и проверки дедуктивных гипотез. Но дедуктивный метод, в отличие от индуктивного, позволяет исследовать природу как обобщенную физическую систему, как нечто целое, и соответствующим образом преподавать физику [5].

В меморандуме научно-методической школы-семинара по проблеме «Физика в системе инженерного образования России», которая проходила в Москве ещё в 2002 году были обозначены основные проблемы обучения физике в техническом вузе [2]. Эти проблемы не только не были решены, но и приняли к настоящему времени ещё более острые формы. Среди проблем преподавания физики и состояния физики, как учебной дисциплины в технических вузах участники школы-семинара выделили:

- падание престижа вузовского преподавателя, высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав кафедр физики технических вузов, имеющий, как правило, базовое физическое образование стареет, пополнение кафедр зачастую идёт за счёт выпускников специальных кафедр, которые нуждаются в профессиональном дополнительном обучении;
- разрушение материально-технической базы учебных лабораторий кафедр физики технических вузов; поставка новых образцов лабораторного и демонстрационного оборудования носит ограниченный характер;
- альтернативой физическому практикуму не может быть компьютерное моделирование лабораторных работ; оно только дополняет и обогащает учебный физический эксперимент и так далее.

Реально сложившейся ситуации в образовании не оставляет сомнений в том, что уже в ближайшие годы возникнет резкий дефицит педагогических кадров, имеющих специальное физико-математическое образование. Как показывает практика, выпускники физических факультетов университетов не идут работать в образование, физико-математические факультеты педагогических вузов испытывают острую нехватку абитуриентов, что в новых условиях подушевого финансирования чревато их ликвидацией (это неоднократно подчёркивалось различными источниками). Таким образом, в дополнение к уже описанным выше проблемам может добавиться ещё одна – снижение уровня преподавания физики в связи с нехваткой кадров имеющую соответствующую профессиональную подготовку в этой области. Безусловно, решением многих описанных проблем был бы перевод физики из

второстепенных в число обязательных дисциплин, более жесткий подход к элективности, стимулирование и поддержка со стороны государства физико-математического и технического образования.

В последнее время появилось огромное количество публикаций по использованию мультимедиа технологий в обучении физики. Мы полностью согласны с тем, что компьютерное моделирование лабораторных работ не может заменить традиционного лабораторного практикума, оно лишь дополняет и обогащает учебный физический эксперимент. Как следует из проведённых нами исследований, использование презентаций на лекционных занятиях при классическом изложении лекционного материала так же не даёт должного эффекта, хотя во многом оказывает существенную помощь преподавателю и обеспечивает необходимую наглядность. В данном случае наиболее эффективно использовать динамические слайд-лекции.

Под динамической слайд-лекцией понимается форма обучения, в которой происходит интеграция «живой» речи лектора и видеоматериала, визуализированного на экране с помощью видеопроектора, управляемого компьютером. Выводимый на экран учебный материал представляет собой комплект компьютерных слайдов с анимационным выводом рисунков, чертежей, основных формул и компьютерных моделей физических процессов, а также различных видеосюжетов [1].

Практический опыт проведения лекционных занятий, опрос студентов позволяет выделить из наиболее распространённых типов лекций как наиболее активизирующие студентов классическую лекцию с презентацией и лекцию с организацией дискуссии.

В классической лекции с презентацией некоторые пояснительные рисунки, схемы, таблицы по рассматриваемому материалу в Power Point более доступны и удобны для восприятия слушателей, чем нарисованные вручную на доске. Включение в презентации видеороликов, анимаций позволяет продемонстрировать сложные явления и процессы, которые не всегда возможно поставить и продемонстрировать в натуральном виде.

Лекция с элементами дискуссии возникает в том случае, если у студентов возникают вопросы, которые они хотели бы обсудить, если лектор ставит какую-то проблему, которую необходимо решить совместно. Однако любая проблема может быть решена, если у обучающихся возникает мотивация к её решению и если они обладают некоторым запасом знаний, на которые можно опереться для решения проблемы. Для создания таких предпосылок активизации лекционного занятия нами используется следующий приём. Студентам в качестве самостоятельной работы предлагается перед лекцией проработать материал по тематике предстоящей лекции. Они могут воспользоваться методическим пособием лектора, дополнительными материалами. Данные материалы к лекции студенты должны представить в виде конспекта. Методика написания предварительных конспектов к занятиям по физике и их дальнейшая корректировка была опробована при обучении учащихся старших классов решению физических задач [8]. Данная методика позволила значительно активизировать процесс решения задач. Однако, для организации на лекции дискуссии необходимо проявление проблем, возникших у студентов при подготовке конспектов. Для их проявления используем некоторые приёмы технологии критического мышления, применяемых на лекции [4], что позволяет, как указывает автор исследования по применению данной технологии, увеличить информативность лекции, усилить самостоятельность студентов, вовлечь их в постановку и решение проблем. В нашем случае лектор начинает лекционное занятие с выяснения объема полученных самостоятельно знаний по теме будущей лекции, степени понимания представленного материала, определения проблемных точек. В дальнейшем, при разворачивании лекции, лектор даёт дополнительные пояснения, расширяет объём новых знаний, организует дискуссию по решению проблем.

Предварительное знакомство с материалом через составление конспекта сначала вызывает у студентов большие затруднения. Поэтому на начальном этапе применения данной методики организуется обучение студентов самостоятельному написанию конспектов. В ходе данной работы студенты обучаются способам и приёмам конспектирования, приобретают умения представить информацию в виде рисунка, таблицы, графика, схемы, приобретают навыки использования сокращений, замены информации представленной в виде текста на знаково-символические комбинации. Обязательными требованиями к содержанию конспекта являются: тезисное изложение теоретического материала с выводом формул, законов; возникшие в ходе изучения материала вопросы; наличие примеров практического применения материала, схемы и рисунки.

На лекции преподаватель демонстрирует свой способ изложения материала. Это позволяет студентам увидеть недочёты своих конспектов, обучает их структурированию и логическому изложению материала.

Может показаться, что применяемая методика ведёт к большим трудозатратам преподавателя и перерасходу лекционного времени. Но это не так. При наличии предварительно усвоенного материала у лектора появляется время для пояснения наиболее сложных вопросов, обсуждения спорных тем, что особенно ценно в условиях острой нехватки аудиторного времени на изучение физики. Использование рейтинговой системы оценки учебных достижений является хорошим стимулом для вовлечения студентов в данный вид самостоятельной работы.

В заключение отметим, что использование метода предварительного изучения материала лекции позволяет постепенно формировать одну из наиболее значимых компетенций современного специалиста – способность и готовность обучаться в течение всей жизни.

Литература.

1. Аксенова Е.И. Методика создания и применения динамических слайд-лекций при обучении физике в вузе: дис. канд. пед. наук. – Москва, 2005 – 187с.
2. Ассоциация кафедр физики технических вузов России [электронный ресурс]: <http://www.physicas.ru/>
3. Гладун А.Д., Спиринов Г.Г. Нужна ли в России физика инженеру? [электронный ресурс]: <http://www.mk.ru/social/article/2011/01/17/558400-nuzhna-li-v-rossii-fizika-inzheneru.html>
4. Жидова Л.А. Умения критического мышления как средство повышения качества профессиональной подготовки будущих учителей математики // Вестник ТГПУ. – 2009. Выпуск 4 (82). – С. 42-47.
5. Коган И.Ш. Вопросы, возникающие при изучении физики и техники [электронный ресурс]: <http://physicalsystems.narod.ru/index09.01.html>
6. Крохин О.Н., Зауткин В.В., Кульчин Ю.Н. Проблемы физического образования в технических вузах. БОРЬБА С УМО [электронный ресурс]: http://window.edu.ru/window/library/pdf2txt?p_id=6687
7. О переходе на бакалавриат в технических вузах [электронный ресурс]: <http://www.eduhelp.info/page/o-perehode-na-bakalavriat-v-tehnicheskikh-vuzah>
8. Полицинский Е.В. Обучение школьников решению физических задач на основе деятельностного подхода: автореферат канд. пед. наук / Е.В. Полицинский. – Томск, 2007. – 22с.
9. Спиринов Г.Г. Сколько физики нужно студенту технического вуза? [электронный ресурс]: <http://www.physicas.ru/>
10. Федоров И. О содержании, структуре и концепции современного инженерного образования. // Alma mater. – 2000. – № 2. – С. 9.

О СОСТОЯНИИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

О.Б. Савин, А.Ф. Гареев, студенты 4 курса

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в г. Стерлитамак
453118, г. Стерлитамак, ул. пр. Октября, 2, тел. (3473)-24-25-12*

E-mail: fotogun@yandex.ru

Физика (от др.-греч. φύσις — природа) – как следует из названия, наука, занимающаяся изучением природы. Её задача состоит в том, чтобы находить связи между предметами и явлениями, формулировать законы природы, на основе которых прикладные науки смогут создавать технологии для производства общественных благ. Физика является базовой наукой, т.к. изучает предметы и явления в их основе. Поэтому в соответствии с физикой должны находиться другие естественные науки, такие как химия, биология, космология и другие, а также их подразделы; выводы этих наук не могут противоречить законам физики. Математика служит для формирования моделей и количественных оценок выводов, предлагаемых этими науками. Философия является тем всеобщим компасом, который определяет вектор развития человеческого общества. Остальные науки появляются на стыке этих основных или выводятся из них.

Дела в прикладных науках обстоят относительно хорошо, постоянно создаются новые технологии. А вот в теории давно обозначился застой.

Так, например, в соответствии с выводами Теории относительности ни один материальный объект не может двигаться быстрее скорости света. Значит, мы не можем наблюдать объекты дальнего космоса посредством сигналов более быстрых, чем свет или электромагнитные волны, которые распространяются также со скоростью света. Поэтому поиски таких сигналов не ведутся и способы

их создания не изучаются. Человечество лишается возможности получения технологий передачи сигналов на астрономические расстояния, что ограничивает его экспансию в космос. И наоборот, учёные заняты поисками способов передачи сигналов посредством искривления «пространственно-временного континуума», что вредно в плане затрат экономических и интеллектуальных. Однако очевидно, что ни время, ни пространство не возможно искривить, т.к. это не самостоятельные объекты, и они могут быть использованы лишь в качестве аргументов, но не функций чего-либо. Используемые в этой теории преобразования Лоренца выведены им исходя из представлений о существовании эфира (среды, заполняющей всё мировое пространство), бытовавших в конце 19 века. А эффекты, которые в Теории относительности объясняются искривлением пространства и времени, в реальности имеют другой механизм, изучением которого ещё предстоит заняться учёным.

Исключение из физики эфира в начале 20 века под влиянием Теории относительности [1, с.39] повлекло за собой невозможность объяснить его существованием некоторые эффекты микромира. Созданная для этих целей квантовая механика говорит, что электрон – это некая точка, появляющаяся в пространстве около ядра атома с некоторой вероятностью, оцениваемой ψ -функцией. Если допустить существование строительного материала для элементарных частиц - эфира, то это представление легко заменяется следующим. Электрон – это действительно облако с распределением массы вокруг ядра, соответствующим ψ -функции. Причём элементы эфира в этом облаке движутся со скоростями большими скорости света [2, с.400].

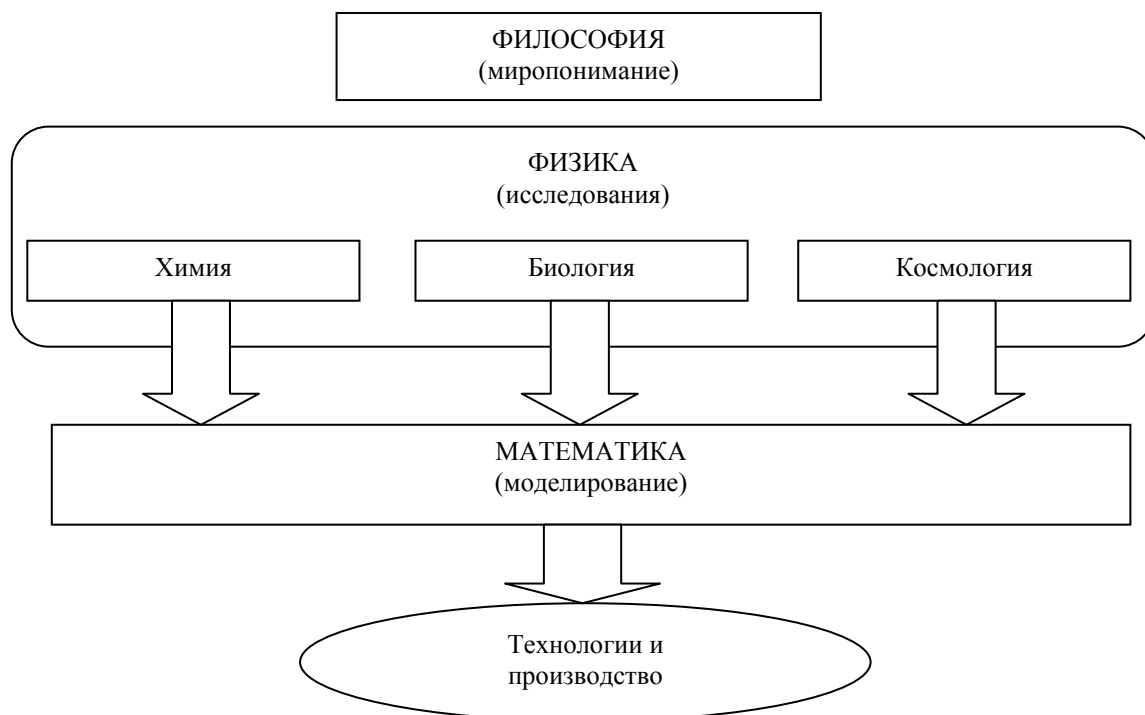


Рис. 1. Структура науки

Парадоксы, порожденные неверными представлениями о природе, легко разрешаются, если взглянуть на проблему с другой стороны [2, с.134]. Например, гравитационный парадокс Неймана-Зеелигера, возникающий в рамках несовершенной теории тяготения Ньютона, разрешается, если вспомнить, что ни одно взаимодействие не может обладать силой для распространения на бесконечное расстояние. Следовательно, дальность распространения гравитационного поля объектов ограничена, а гравитационный потенциал в каждой точке Вселенной конечен. Т.е. закон тяготения попросту требует уточнения.

Фотометрический парадокс Шезо-Ольберса, разрешается также легко, если помнить о невозможности распространения света на бесконечные расстояния. Фотон, имеющий свойства волны, рано или поздно ослабевает и затухает вовсе. Следовательно, в бесконечной Вселенной не могут быть видны все объекты, излучившие когда-либо свет. Кстати, ослабеванием фотона объясняется и «крас-

ное смещение» излучения дальних астрономических объектов, а вовсе не расширением Вселенной (Доплеровский эффект). Следовательно, исчезают основания для существования теории Большого взрыва, которая нелогична в самой своей основе, когда «что-то» рождается из «ничего», причем, когда времени и пространства ещё не существовало.

Попытка объяснить существование массы у объектов через взаимодействие с полем бозона Хиггса, вычисленного в рамках т.н. Стандартной модели, породила строительство гигантских и сверхдорогих ускорителей частиц. Для проверки этой неверной модели построены целые производства, что несомненно сказывается на экономиках стран-участниц проекта. Но очевидно, что даже положительный результат эксперимента не подтверждает теории. Во-первых, он ей попросту не противоречит, а во-вторых, нахождение следов существования вычисленной частицы не говорит, что именно её поле создаёт массу всех объектов вселенной. А сам эксперимент в принципе закладывает в себе возможность обнаружения объектов нужных энергий. К примеру, мы говорим, что наша теория верна, если в результате разбития тарелки мы получим треугольный осколок. Мы начинаем колоть тарелки, и рано или поздно неизбежно получаем осколок нужных параметров.

Сейчас для разрешения накопившихся несостыковок теорий и накопленных фактов в физику вводятся неопределённые понятия наподобие «тёмной материи» и «тёмной энергии», которые по свойствам напоминают как раз тот самый эфир. Делаются попытки создать Теорию великого объединения, в рамках которой описывались бы все четыре известных фундаментальных взаимодействия. Невозможность объяснить некоторые явления вынуждает учёных вводить дополнительные пространственные или временные мерности в свои теории.

Всё это является следствием утраты философии в качестве общего компаса в науке. Теории часто носят описательный характер, не раскрывающий сути, механизма предметов и явлений. Математика вместо инструмента превратилась в замену самой физики, а вместо природных систем объектами исследования становятся математические модели.

Известно, что материя может существовать в виде вещества и в виде поля. Однако возможность их взаимодействия однозначно говорит о том, что оба этих вида материи состоят из одного и того же строительного материала. И этот, по сути, философский вывод показывает, что физике необходимо заняться поиском этого первовещества. А это, несомненно, создаст очередной импульс в развитии науки и техники, а, следовательно, и всего человеческого общества. К настоящему моменту уже проведены многочисленные эксперименты, подтверждающие существование такой среды [3].

Таким образом, физика является законодателем мод в естествознании, на неё ориентируются и из неё черпают вдохновение все другие науки, в том числе и социальные. Ведь законы общества неизбежно вытекают из законов физики. Если в физике на вооружение принята неверная теория, то в тупик движется вся наука, а значит, тормозится развитие общества. Поэтому в физике нужен порядок. Следует помнить, что в основе устройства мироздания лежит иерархический принцип организации, т.е. любой крупный объект состоит из более мелких. И переход к более низкому уровню организации влечёт за собой новые открытия и технологии.

Литература.

1. Эйнштейн А. Теория относительности. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 224 с.
2. Ацюковский В.А. Концепции современного естествознания. История. Современность. Проблемы. Перспектива. – М.: ИД СП, 2006. – 446 с.
3. Ацюковский В.А. 12 экспериментов по эфиродинамике. – Жуковский: «Петит», 2003. – 48с.

ПРОБЛЕМЫ ФИЗИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Е.А. Складорова, к.п.н., доц., Г.В. Ерофеева, д.п.н., проф.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822) 606-200

E-mail: skea@tpu.ru

Вне зависимости от построения образовательной системы, качество образования зависит от следующих составляющих:

1. Фундаментализация образования;
2. Современное оборудование;

3. Высокопрофессиональный коллектив преподавателей, активно работающий в инновационных областях науки и внедряющий результаты в образовательный процесс;

4. Программно-методическое обеспечение аудиторной и самостоятельной работы студентов, создаваемое коллективом преподавателей.

На первый взгляд может показаться, что составляющие высококачественного образовательного процесса не связаны между собой. Однако, это системные (взаимозависимые составляющие высокопрофессиональной подготовки выпускников). Фундаментализация предполагает не только и не столько глубокие естественнонаучные и математические знания, сколько способности студентов применить знания для создания новой техники и технологий. Без самого современного учебного и научного оборудования, научно-методического и программного обеспечения, а также соответствующего коллектива преподавателей, достичь этого невозможно.

Существенную роль играет подготовка по физике и математике будущего абитуриента в школе. В вузе приходится преодолевать два основных недостатка школьного образования: слабые знания и отсутствие умения самостоятельно учиться. Большие возможности Интернета и электронных ресурсов не дают возможности в этом случае студенту получить системные и систематические знания.

Проблема собственно технического образования возникла еще и в связи с ослаблением интереса к инженерным специальностям [1], в то же время отрадно отметить, что наблюдается повышение конкурса и проходного балла на инженерно-технические специальности.

Компетентностный подход, получивший широкое распространение для оценки качества подготовки не только выпускников вуза, но и школьников, предполагает формулирование, формирование и проверку сформированности компетенций. Все три позиции имеют свою сложность. Работодатели не спешат широко публиковать свои требования, предпочитая выяснять качество подготовки будущего работника при собеседовании и во время испытательного срока. Поэтому разработчики образовательных программ формулируют компетенции на свой страх и риск по результатам встреч с работодателями и в соответствии с потребностями рынка, а затем согласуют с заинтересованными лицами и организациями. Для формирования компетенций, помимо указанных выше позиций, еще требуется соответствующая образовательная программа, организация учебного процесса и др. Но самая сложная задача – это проверка сформированности компетенций выпускника после завершения обучения. В данной статье предлагается анализировать результаты не только успеваемости выпускника, но также и научную деятельность и публикации [2].

Ректор Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова В. Садовничий в одном из своих выступлений указывал, что информационный материал учебников по физике отстает от современного состояния науки на 50 лет. Из анализа рубрики «Новости образования и науки» и собственного опыта организации учебного процесса бакалавров и магистров, а также их достижений, требования к научно-методическим материалам для организации учебного процесса сводятся к следующим:

1. Актуальность содержания;
2. Сочетание краткости, логичности и полноты (в соответствии с требованиями к выпускнику);
3. Привязка содержания дисциплины к формированию общекультурных и профессиональных компетенций выпускников;
4. Связь с инновационными научными исследованиями в профессиональной области и смежных областях;
5. Лекционное занятие новой формы (лекция-практика-обсуждение-итоги);
6. Организация работы групп студентов над проектами, начиная с младших курсов.

Поскольку физика является основой технического образования, учебный процесс по физике играет ведущую роль. Особую важность это приобретает, если при подготовке выпускника физика служит профессиональной дисциплиной. При подготовке бакалавров и магистров по направлению «Физика» и профилю подготовки «Физика конденсированного состояния» в учебный план включены два новых курса: мировоззренческий курс «Современная научная картина Мира» и «Физические основы наноматериалов» для формирования современных научных представлений. Кроме того, обучение по этим курсам позволит в дальнейшем выпускникам изменять профессиональную направленность. В древности все науки изучались внутри одной науки – натуральной философии. Дифференциация наук была исторически оправдана, доказательство этому – бурное развитие физики, химии, биологии в XVIII-том, XIX-том и особенно и в XX веках. В результате этой дифференциации траектории исследований в этих науках разошлись: изучая отдельно физику, химию и биологию, рассматривают законы, действующие в физических, химических, биологических системах. При этом исчеза-

ет представление об единстве Мира: он един, потому что состоит из одних и тех же элементов периодической системы (в космосе тоже не были найдены другие элементы), в Мире действуют одни и те же законы (деление на Мега-Макро-Микро-Миры условно, следует учитывать лишь границы их применимости и др.)

Поэтому возникла необходимость в преподавании новой «натурфилософии», в которой представлена общая естественнонаучная картина Мира на основе последних достижений естественных наук. Кроме того, в курсе рассматриваются общие вопросы естественных наук: симметрия и асимметрия, кривизна пространства, самоорганизация и др.

В связи с развитием научного направления «Наноматериалы и нанотехнологии» [3, 4] получила практическое применение квантовая механика. Особое значение приобретают разделы квантовой механики для студентов, обучающихся по программе «Физика конденсированного состояния». Представляется целесообразным начать изложение информационного материала курса «Физические основы наноматериалов» с повторения понятий физики твердого тела. Указать, что зоны Бриллюэна показывают такие значения волновых векторов, при которых электронная волна не может распространяться в твердом теле и в этом заключается физический смысл зон. Вследствие периодичности кристаллической решетки и существования зон Бриллюэна в кристалле возникают запрещенные и разрешенные энергетические состояния.

Применение разложения в ряд Фурье по векторам обратной решетки периодической функции с трансляционной симметрией кристалла объясняется тем, что ряд Фурье является мощным инструментом при решении самых разных задач. Очень важным элементом информационного материала являются классические и квантовые размерные эффекты [5], возникающие в квантовых точках, нитях, трубках. Физические основы самоорганизации наночастиц в физике, химии, биологии рассматриваются, начиная с понятий о самоорганизации, условий возникновения самоорганизации и др., с которыми студенты, как уже указывалось выше, знакомятся в курсе «Современная научная картина Мира». Рассматриваются физические основы спинтроники и ее применение для логических схем, обладающих высоким быстродействием.

Нам представляется, что полностью отказаться от лекции, как это предлагает ректор Московской школы управления «Сколково» Андрей Волков, нецелесообразно [6]. Лекции, как вид занятий должны остаться, но доля их в учебном процессе уменьшается и изменяется их формат. На первой лекции преподаватель кратко расставляет акценты и указывает на сложности в самостоятельном изучении информационного материала, а также пути их преодоления. Студенты разбиваются на группы 5-6 человек, каждой группе выдается задание в виде мини-проекта. На последующих лекциях студенты сообщают о выполнении заданий, даются консультации по дальнейшей работе с проектами. Если задание группа выполнила, студенты получают балл, в соответствии с рейтинговой системой [7].

На первом этапе выдаются очень простые задания для создания мотивации к дальнейшей работе. Например: В курсе «Физические основы нанотехнологий» первый мини-проект выдается на определение индексов Миллера. Более сложное задание выдается на построение зон Бриллюэна, для различных металлов и кристаллов. Поскольку физические свойства материалов в значительной степени зависят от топологии поверхности Ферми, то следующий проект выдается на построение поверхности Ферми. И так каждая тема рассматривается кратко, обсуждаются результаты по выполнению заданий, затруднения и др.

Для успешной работы над проектами необходимы: очень подробный электронный вариант учебно-методического обеспечения, база заданий, содержание проектов, необходимое оборудование.

Поскольку курс «Физические основы нанотехнологий» изучается на третьем курсе, имеется возможность выдать задание на выбор гибридных систем ферромагнитных и полупроводниковых материалов и описание свойств других систем.

Литература.

1. <http://www.novotomsk.ru/read/news/16722>
2. G.V. Erofeeva, E.A. Sklyarova, I.P. Chernov Enhancing Education in science based on information technology application //European journal of natural history. – 2011. – №3. – pp. 56-60.
3. Ajayan P.M., Schadler L.S., Braun P.V. Nanocomposite Science and Technology/ Wiley, 2003.
4. http://femto.com.ua/articles/part_1/1570.html
5. Z.V. Gareeva, A. K.Zverdin, Phys. status solidi (RRL), 3, 79 (2009).
6. http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=221&d_no=50341
7. Зеличенко В. М., Ларионов В. В., Пак В. В. Совместная деятельность студентов на практических занятиях по физике: формирование физических идей на уровне проекта// Вестник ТГПУ. – 2012. – № 2 (217). – С. 147-151.

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНОСЕНСОРОВ В ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ НАНОБИОИНТЕРФЕЙСЫ

Н.В. Турушев, аспирант, М.Г. Григорьев, аспирант

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (38-22)-56-34-70

E-mail: nvtur90@mail.ru

Одной из существующих и насущной проблемой человечества является поддержание хорошего уровня здоровья и дееспособности организма. Именно здоровье организма и правильное функционирование всех его систем, в первую очередь, влияет на качество жизни и благополучие человека, как душевное, так и материальное. По этой причине, первоочередной задачей во многих странах является решение проблем здравоохранения и разработка новых методов лечения и диагностирования существующих заболеваний и патологий.

По докладом Министерства Труда и Социальной защиты Российской Федерации на апрель 2013 года количество инвалидов в стране превысило отметку в 12,8 миллионов человек, что составляет 9,2 % всего населения России. Из них 1,75 миллионов являются людьми трудоспособного возраста. Но занимаются трудовой деятельностью только 0,508 миллионов человек, то есть около 31,9 %. Для сравнения уровень занятого населения России от численности трудоспособного населения составляет 75 % [1].

Кроме этого люди различных степеней инвалидности испытывают большие трудности при социализации из-за отклонений, как в раннем детстве, так и в зрелом возрасте, что сильно понижает их качество жизни и наносит большое количество психологических травм. Именно повышение качества жизни таких людей и более простая интеграция их в общество является одной из проблем, которую решает государство и весь мир в целом.

Одним из способов решения проблемы социализации и увеличения качества жизни людей, восстановление их способностей является создание протезов, частично или полностью восстанавливающих функции, нарушенные у инвалидов и мешающие их нормальному существованию.

Решением этой проблемы стала разработка протезов, заменяющих отсутствующие органы человеку. Протезы позволяют человеку с инвалидностью уменьшить акцент на присутствующую у него патологию, уменьшить неудобства, которые он от неё испытывает, и помочь в адаптации во внешнем мире. Некоторые учёные классифицируют разработанные на данный момент протезы на две группы: косметические и функциональные [2].

Особенность косметических протезов заключается в том, что они несут минимальное восстановление функций отсутствующих органов человека и, в основном, направлены на маскировку недостатка правдоподобной моделью, в максимальном приближении повторяющей визуальные параметры. Косметические протезы являются самым древним видом протеза, в истории известны случаи замены конечностей и частей лица ещё со времен древних шумеров и египетских фараонов. Как правило, данный вид протезов используется для обеспечения косметического эффекта для повреждённых органов опорно-двигательного аппарата и участков лица.

Производством подобных протезов занимаются практически во всех странах мира. В Российской Федерации производством косметических протезов занимается более 70 протезно-ортопедических мероприятий, связанных со своим регионом для обеспечения продукцией жителей, нуждающейся в ней. Например, в Томской области производством протезов занимается ФГУП «Томское протезно-ортопедическое предприятие», производящее протезы разнообразного назначения.

Функциональные протезы, называемые так же миотоническими, отличаются от косметических тем, что, прежде всего, направлены на восстановление функций потерянной части тела, либо органа. Такие протезы могут обладать косметическим эффектом (полный протез кисти, голени) или направлены только на восстановление функций.

На мировом рынке миотонические протезы представляют такие компании-производители, как Otto Bock (Германия), Thalmic Labs (США), Ossur (Ирландия), Dynastream Innovations (Канада), Touch Bionics (США). Данные разработчики приобрели большую известность не только за рубежом, но и в России. Например, продукция компании Otto Bock хорошо представлена в ФГУП «Томское ПрОП». [2] Объём рынка протезов в мире по версии Market News составляет 16 млрд. долларов, а стоимость протезов варьируется от 2 000 до 300 000 долларов. В России объём представляет около 3 млрд. рублей, а стоимость варьируется от 30 000 до 2 000 000 рублей [2].

Миотонические протезы управляются при помощи биоинтерфейса, который использует в качестве информативного параметра электрофизиологические биосигналы человека. Учёные различают несколько видов биоинтерфейсов: электромиографические, неврологические, нейрокомпьютерные интерфейсы.

Нейрокомпьютерные биоинтерфейсы используют в качестве информативного параметра биосигналы, поступающие из подкорки головного мозга. При этом снимающие отведения вживляются в участок коры головного мозга. Получаемые данные обрабатываются и преобразуются в управляющие сигналы, подаваемые на механику протеза. Наибольшую пользу данный вид интерфейсов имеет для людей, страдающих от паралича конечностей, обусловленного нарушением нейронных связей между мозгом и управляемым органом.

Данный вид интерфейсов обладает преимуществами, такими как возможность управлять протезом, заменяющим полную конечность или парализованную область тела. Но и имеет большой недостаток – инвазивность, что создаёт большой риск повреждения или заражения мозга при установке протеза.

Неврологический интерфейс использует в качестве информативного параметра сигналы, проходящие через активируемые нервы человека. Отведения такого интерфейса могут быть, как вживлёнными в нервную ткань, так и установленными над нервами, не внедряясь в живые ткани. Существует подвид вживления интерфейса в позвоночный столб, в аксоны больших рогов. Главным риском при использовании данного вида биоинтерфейсов является возможность разрушения или травмирования нерва и окружающих его тканей.

Электромиографический биоинтерфейс основан на биосигналах, получаемых с мышечной ткани. Как правило, отведения подобных биоинтерфейсов располагаются над мышцей, но существует практика внедрения электродов в мышечные пучки, в результате чего возможно возникновение определённых рисков травмирования здоровой части тела. Использование данного вида биоинтерфейсов в протезировании ограничено площадью информативной поверхности остаточных отделов мышцы, принимающих участие в дееспособной или отсутствующей конечности.

Проводимые на базе лаборатории № 63 института неразрушающего контроля НИ ТПУ исследования позволили добиться новых результатов в улучшении характеристик биоинтерфейсов, работающих на принципе регистрации электрофизиологических сигналов человека. Открытия, произведённые во время исследования, позволили разработать новый класс наносенсоров, не имеющих аналогов во всём мире. Отличительными особенностями разработанных наносенсоров являются высокая помехоустойчивость, долгий срок эксплуатации, высокая чувствительность, биосовместимость [3]. Разрабатываемые наносенсоры позволяют создать на их основе высокочувствительные, быстродействующие, безопасные измерительные комплексы, которые могут предоставить возможность по-новому исследовать организм человека.

Используемая технология, планируется для внедрения в электромиографические нанобиоинтерфейсы, которые позволят создать протезы, обладающие более высокой скоростью отклика по сравнению с существующими аналогами благодаря отсутствию инерционных звеньев, высокой чувствительностью, удобством эксплуатации и установки благодаря неинвазивности наносенсоров, а так же большим сроком службы. Разрабатываемый экспериментальный макет нанобиоинтерфейса будет состоять из наносенсоров, блока усиления биосигналов, блока обработки биосигналов.

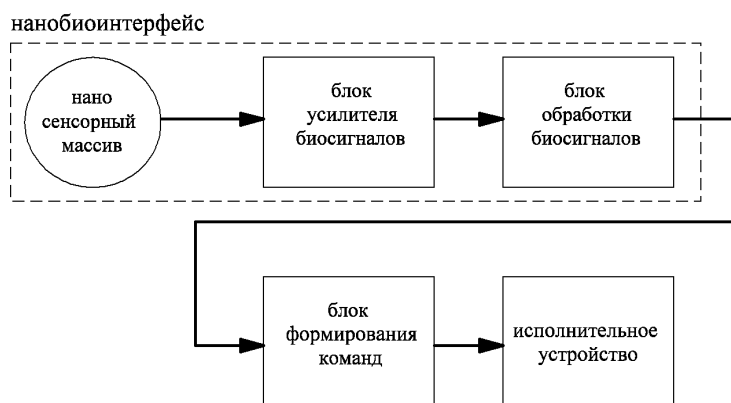


Рис 1. Структурная схема нанобиоинтерфейса в составе простейшего миотонического протеза

С наносенсоров информация поступает на усилитель биосигналов и передается в блок обработки сигналов, преобразующий усиленные биопотенциалы в цифровой код, удобный для обработки в блоке формирования команд, который обычно содержится в любом миотоническом протезе и служит для управления электромеханической его частью (рис. 1).

На данный момент проводятся исследования, направленные на разработку оптимальной формы наносенсора, анатомически совместимой с конечностями человека.

По проведенным исследованиям будет разработан экспериментальный макет наносенсора, внедренный позднее в нанобиоинтерфейс, который найдёт применение во многих сферах человеческой жизни, как в медицине, так и в системах управления сложными компьютерными устройствами.

Литература.

1. О реализации мер, направленных на развитие трудовой занятости инвалидов// Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации. [Официальный сайт] URL:<http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/migration/12> (дата обращения: 10.02.2014).
2. Max Ortiz-Catalan, Rickard Branemark, Bo Hakansson, Jean Delbeke. On the viability of implantable electrodes for natural control of artificial limbs: Review and discussion. *BioMedical Engineering OnLine*, 2012, 11:33. doi:10.1186/1475-925X-11-33.
3. Турушев Н. В. , Кашуба И. В. , Южаков М. М. Электронейромиограф // Современная техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 15-19 Апреля 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - Т. 1 - С. 417-418.

РОЛЬ И ФУНКЦИИ ЗАДАЧ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ

Е.В. Полицинский, к.пед.н., доц. каф. ЕНО

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)6-44-32

E-mail: ewpeno@mail.ru

В новых социально-экономических условиях происходит изменение требований к личностным и деловым качествам специалистов: навыки труда сохраняют свое значение, но все больше на первый план выходят фундаментальность знаний, умение анализировать, оценивать нестандартные ситуации и принимать нужные решения. Установка на то, что качественное обучение предметам естественнонаучного цикла важно для существования инновационного общества, в настоящее время принята большинством стран. Например, в США как отмечает министр образования г-жа Маргарет Спеллингс «В фаворе и в школьном, и в вузовском образовании сейчас научно-техническая предметность: математика, естественные науки, технологические и инженерные дисциплины».

Получить специальные знания в соответствующих областях техники и технологии, сформировать определенную культуру научного мышления можно только благодаря естественнонаучному образованию, основой которого является физика. Среди всех фундаментальных наук, определяющих современный научно-технический прогресс, физике принадлежит особая роль в подготовке профессиональных кадров к активному и деятельному участию в современном производстве. Кроме того, существует мнение о том что «современная физика лежит в ядре гуманитарного образования, поскольку кроме физики ни один другой предмет не дает такого ясного понимания процесса познания природы и общества» [5].

В тоже время вызывает беспокойство снижение интереса молодежи в нашей стране к естественным наукам и в частности к физике, прежде всего из-за непрестижности в настоящее время научной и преподавательской деятельности. Этому способствует перевод физики во «второстепенную» дисциплину, по которой необязательно при окончании школы сдавать выпускные экзамены.

Основной причиной непопулярности физики современные школьники считают неумение решать физические задачи. Хотя именно через решение задач достигается понимание физического материала, приобретаются глубокие и прочные знания, наиболее эффективно формируются умения по их практическому применению.

Решение задач – основной компонент процесса обучения точным наукам. О значении решения задач при обучении физике достаточно полно и удачно на наш взгляд говорится в «Теории и методике обучения физике в школе» под редакцией С.Е. Каменецкого и Н.С. Пурышевой. «В процессе решения задач знания учащихся конкретизируются, создается понимание сущности явлений, физи-

ческие понятия и величины приобретают реальный смысл, у ученика появляется способность рассуждать, устанавливая причинно-следственные связи, выделять главное и отбрасывать несущественное. Решение задач позволяет сделать знания осознанными, избавить от формализма» [4, С. 319 - 320]. При этом отмечается, что учащиеся обязательно должны решать задачи, так как в противном случае они не усвоят понятия и законы физики, либо их знания будут формальными.

В ходе решения задачи субъект решения совершает мыслительные действия, направленные от знания формулировок законов и начальных условий исследуемого процесса к установлению взаимосвязи между известными и неизвестными характеристиками этого процесса, объяснению и количественной оценке его результата. Таким образом, процесс решения задач способствует более глубокому осмыслению изученных явлений и законов, формированию целостного представления об окружающем мире. Поэтому, по способности решать физические задачи зачастую судят о глубине понимания субъектом физических законов и явлений.

Анализ использования задач в процессе обучения физике позволяет выделить следующие их функции:

- *познавательная функция* заключается в том, что, осуществив соответствующий подбор материала физических задач, можно знакомить учащихся с новым материалом, расширяя область их знаний, подготовить к усвоению дальнейших частей изучаемого курса. Решение задач содействует отчетливому формированию физических понятий, более разностороннему и глубокому пониманию, прочному усвоению ими получаемых знаний;
- *развивающая функция* состоит в том, что при решении физических задач формируются умения учащихся работать с разными видами представления информации (с таблицами постоянных величин, физическими справочниками, графиками и т.д.), формируются навыки самообразования, умения совершать мыслительные операции (анализ, синтез, индукция, дедукция, сравнение и т.д.).
- *функция реализации единства теории и практики* при решении физических задач проявляется в умениях применять физические законы к объяснению явлений природы и к решению практических вопросов. При этом физические формулы как бы «оживают», наполняются конкретным содержанием;
- *функция закрепления знаний, совершенствования практических навыков и умений*. Специально подобранные задачи, охватывающие разные темы, явления и процессы, позволяют осуществить повторение пройденного материала по разным разделам школьной программы;
- *функция демонстрации межпредметных связей* физики, в первую очередь – с математикой, а так же с техникой, астрономией, химией, географией;
- *функция контроля знаний, умений и навыков*. Именно через решение задач можно определить уровень усвоения учащимися того или иного материала, проверить, насколько качественно он усвоен.

Приведенные функции задач показывают, насколько важен процесс решения задач в обучении физике.

Принципиально новым в действующих сегодня стандартах по физике является личностно-ориентированный и деятельностный подход при определении целей обучения, постановка перед физическим образованием в первую очередь целей развития учащихся, воспитания убежденности в познаваемости окружающего мира. Кроме того, изучение школьного курса физики предусматривает формирование общеучебных умений, универсальных способов деятельности и ключевых компетенций. Образовательный стандарт по физике ориентирует учителя на организацию учебного процесса, в котором ведущая роль отводится самостоятельной познавательной деятельности учащихся. При этом отмечается, что необходимо не сообщать школьникам систему готовых знаний, а организовывать деятельность по получению и практическому применению физических знаний. Таким образом, учитель должен контролировать не запоминание текста учебника, а правильные и успешные познавательные действия ученика.

Многими специалистами (Г.А. Атанов, Г.А. Балл, М.Е. Бершадский, А.В. Брушлинский, В.В. Гузев, Г.С. Костюк и др.) отмечается необходимость перехода к информационно-деятельностному обучению непосредственно через задачный подход. В частности Г.А. Атанов пишет: «Этот подход представляется естественным с точки зрения деятельности, чья сущность заключается ... именно в решении задач, ... позволяет наглядно и эффективно организовать деятельность обучаемых, так как, по сути дела, моделирует реальную деятельность» [2, С.123]. Как отмечает В.С. Аванесов обучение без заданий не эффективно, а нередко и вредно, потому что отучает от мышления и от самостоятельности в учебной работе. Отсутствие или недостаток опыта самостоятельного решения учебных задач переносится и на неумение выпускника школы или вуза успешно решать затем и жизненные задачи [1, С.29]. Задачи – важная составляющая процесса обучения, важнейший инструмент, с помощью которого формируется мыслительная деятельность, практические навыки и умения.

Таким образом, нужно признать, что:

- обучение представляет собой совокупность двух взаимосвязанных, но самостоятельных деятельностей, – деятельности обучающего и деятельности обучаемого, или учебной деятельности, а не «целенаправленный педагогический процесс»;
- деятельность преподавателя заключается в проектировании, организации и управлении учебной деятельности, а не в «передаче» знаний;
- при проектировании и организации обучения первичными являются деятельность и действия, составляющие эту деятельность, но не знания. В процессе обучения, обучаемый должен осуществлять учебную деятельность, а не просто накапливать знания;
- знания являются всего лишь средством выполнения действий и обучения им, но не его целью. Знания играют служебную роль, объясняя и подготавливая практические действия. В современном понимании знать – значит с помощью знаний осуществлять определённую деятельность, а не просто помнить определённые знания;
- конечной целью обучения является формирование способа действий, а усваивать знания можно, только оперируя ими, а не просто запоминая их;
- механизмом осуществления учебной деятельности является решение задач, и если учащийся или студент не решает учебные задачи, то это значит, что его учебная деятельность не организована.

Проблема овладения учениками умениями решать физические задачи остаётся традиционной проблемой физического образования. Результаты обучения школьников решению физических задач в настоящее время оказываются не высокими, что подтверждается результатами ЕГЭ. Данная проблема переносится в дальнейшем и на обучение в вузе, уровень физико-математической подготовки студентов обучающихся на технических специальностях мягко сказать оставляет желать лучшего.

Попытка применения на практике деятельностного подхода к обучению для всех учащихся встречается с серьёзными трудностями. Среди этих трудностей – значительное несоответствие между объемом обязательного материала и временем на его изучение. Традиционная методика по схеме «прослушай – прочитай – воспроизведи» требует – для заучивания и воспроизведения – как минимум в 3 – 4 раза меньших затрат времени, чем методика изучения того же материала на основе принципа проблемного обучения и деятельностного подхода. Изучение организации дополнительных занятий по решению задач в школе, на подготовительных курсах по подготовке к единому государственному экзамену, позволяет говорить об имеющей место практике решения как можно большего числа заданий прошлых лет самим учителем. При этом, как правило, деятельность большинства учеников сводится к запоминанию частных формул, ориентированных на решение типовых задач. Этот способ не решает проблемы обучения школьников решению физических задач, не позволяет обеспечить соответствие требованиям, заключающимся в готовности использовать усвоенные знания, умения и способы деятельности для решения различных задач в реальной жизни.

В процессе проведённых нами исследований был сделан вывод – процесс обучения школьников решению физических задач должен быть выстроен на деятельностной основе. Особенностью разработанной авторской методики обучения школьников – учащихся профильных классов и слушателей подготовительных курсов решению физических задач является то, что учащиеся самостоятельно выстраивают деятельность по решению физических задач на основе индивидуальных возможностей. Диагностика затруднений и обучение несформированным действиям, необходимым для решения задачи, позволяют осуществить индивидуализацию обучения. Предлагаемая методика предполагает:

- решение задач по определённой теме как поэтапную самостоятельную деятельность ученика;
- решение отдельной задачи по алгоритму, разработанному учениками совместно с учителем для данного типа задач;
- выяснение затруднений в действиях по решению задачи;
- обучение несформированным действиям на основе индивидуального прорешивания задач, предлагаемых учителем (качественных, графических, задач-рисунков, задач на анализ физической ситуации) [3].

Литература.

1. Аванесов, В.С. Основы теории педагогических заданий / В.С. Аванесов // Педагогические измерения, 2006. – №2. – С. 26 – 63.
2. Атанов, Г.А. Деятельностный подход в обучении / Г.А. Атанов. – Донецк: «ЕАИ-пресс», 2001. – 160с.
3. Полицинский, Е.В. Обучение школьников решению физических задач на основе деятельностного подхода: дис. к. пед. н./ Е.В. Полицинский. – Томск, 2007. – 190 с.
4. Теория и методика обучения физике в школе. Общие вопросы: под ред. С. Е. Каменецкого и Н. С. Пурьшевой М.: ACADEMIA. – 2000.– 367с.
5. The Physics Teacher, 1967, v.5, № 5, p.197 – 203.

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЧИСТОТЫ ВОЗДУХА ГОРОДА ЮРГА МЕТОДОМ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ

А.А. Кондратова, студент гр. 10720, К.Н. Орлова, ассистент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
Email: lestaks@rambler.ru

Формирование и развитие природных экосистем напрямую зависит от степени воздействия техногенных факторов различной природы. Не менее важное значение имеют и адаптивные возможности биологических систем, которые на современном этапе позволяют выявить биоиндикационные исследования, ставшие важной частью экологического мониторинга.

Цель работы: Изучение качественного состояния атмосферы города Юрга методом лишеноиндикации.

Задачи:

1. Выявить видовой состав лишайников, встречающихся в городе.
2. Сделать вывод о степени загрязнённости воздуха в городе.

Одним из основных объектов глобального биологического мониторинга выбраны лишайники. Лишайники представляют собой весьма своеобразную группу споровых растений, состоящих из двух компонентов - гриба и одноклеточной, реже нитчатой, водоросли, которые живут совместно как целостный организм. При этом функция основного размножения и питания за счет субстрата принадлежит грибу, а функция фотосинтеза – водоросли.

Большинство лишайников состоят из образованной гифами плотной коры, в которой имеются необходимые для дыхания поры (Рис. 1). Кора позволяет всасывать влагу из воздуха и защищает лишайник от переохлаждения или перегрева. Под корой гифы более рыхлые, между ними располагаются клетки водоросли. Обычно клетки фотобионта сконцентрированы по периферии – ближе к свету – образуя фотосинтезирующий слой. По анатомическому строению различают лишайники гомеомерные (в которых водоросли распределены более или менее равномерно по всему телу) и гетеромерные (водоросли находятся только под слоем коры). Некоторые лишайники симбиотируют также с бактериями, за счёт чего получают азот прямо из воздуха, или паразитируют на мхах и других лишайниках.

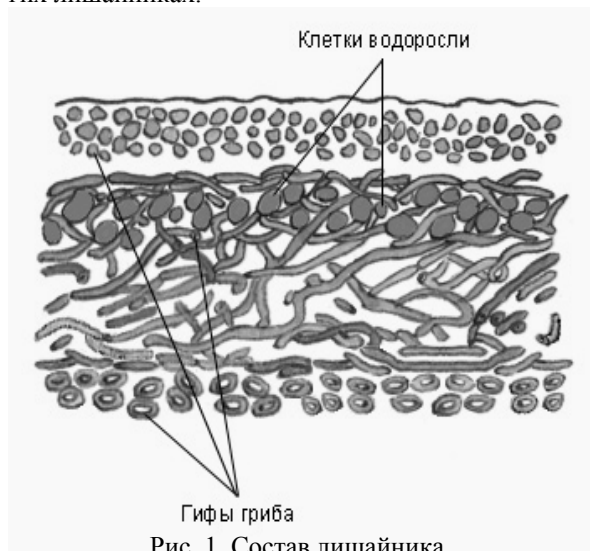


Рис. 1. Состав лишайника

Исследование проводилось на деревьях только одного вида: Тополь. Так как в результате проведенного анализа научных данных выявлена зависимость произрастания эпифитных лишайников от видового состава деревьев, так, к примеру лишайники могут активно распространяться на тополях и хвойных, а менее на березах. Таким образом, чтобы исключить погрешность связанную с видовым составом деревьев был выбран тополь.

Различают три группы эпифитных лишайников:

- **накипные (коркоподобные)** Если

слоевища плотно прилегают к субстрату в виде зернистого либо пылистого налета или в виде чешуек и корочек разной формы, то такие лишайники называются накипными. Похожи на плоские корки, плотно срастающиеся с корой,

камнями, почвой, они трудно отделяются на ощупь, бархатистые и влажные.

- **листоватые (листовидные)** Если слоевища лишайников имеют вид более или менее расчлененных пластинок (лопастей), они называются листоватыми. имеют форму мелких пластинок, чешуек, прикрепляются к поверхности тонкими нитями гриба и довольно легко отделяются от нее.

- **кустистые.** Лишайники, которые имеют кустистое слоевище, состоящее из прямостоячих в разной степени разветвленных столбиков (подециев), называются кустистыми, которые либо растут вверх как маленькие кустики, либо свисают с дерева вниз подобно бороде. Не имея корней, лишай-

ники довольно крепко прикрепляются к субстрату особыми выростами, расположенными на нижней стороне таллома.

На территории города обнаружены следующие виды лишайников: Пармелия бороздчатая (*Parmelia sulcata*), Фисция звездчатая (*Phiscia stellaris*), Пармелиопсис сомнительный (*Parmeliopsis ambigua*), Ксантория настенная (*Xanthoria parietina*)



Рис. 2. Карта Юрги с отмеченными точками проведения измерений

Таблица 1

Результаты качественного исследования состояния чистоты воздуха в г. Юрга

Номер точки	Видовой состав
1	Листовые, накипные
2	Листовые, накипные
3	Листовые, накипные
4	нет
5	накипные
6	накипные
7	накипные
8	накипные
9	нет
10	Листовые, накипные

Изучение всех видов лишайников в крупнейших городах мира выявило ряд общих закономерностей: чем больше индустриализирован город, чем более загрязнен воздух, тем меньше встречается в его границах видов лишайников, тем меньшую площадь покрывают лишайники на стволах деревь-

ев, тем ниже «жизненность» лишайников. Установлено, что при повышении степени загрязнения воздуха лишайники исчезают по следующей схеме в порядке убывания:

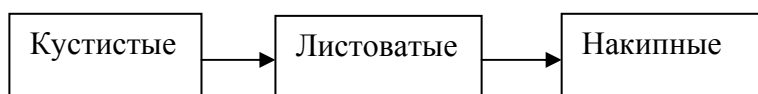


Рис. 3. Исчезновение лишайников при возрастании загрязнения воздуха

Выводы

В результате качественного биомониторинга с помощью лишеноиндикации на территории города Юрги обнаружены две зоны лишайниковых пустынь. Зона наибольшего загрязнения воздуха предположительно связана с деятельностью заводов. Выделяются две зоны критического загрязнения в жилых районах. Предположительным загрязнителем являются выхлопы автомобилей. Выявлена необходимость дальнейших исследований загрязнения воздуха методом лишеноиндикации на территории города с применением иных методик и с привлечением дополнительных методов для составления лишеноиндикационной карты города Юрги.

Литература

1. Экологический мониторинг: Учебно-методическое пособие / Под ред. Т.Я. Ашихминой. – М.: Академический Проект, 2006. —416 с.
2. Биологический контроль окружающей среды, биоиндикация и биотестирование/ под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.

ДИАТОНИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ КРУГОВ В РАЗЛИЧНЫХ ПРАВИЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ

*А.П. Степанов, ст. преподаватель, Ю.В. Сотокина, инж., А.Г. Филимоненко, студент гр. 10600
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: apsuti@rambler.ru*

Рассматривая волновое движение необходимо принимать во внимание то, что это движение имеет начало и конец – то место, где возбужденная волна либо поглощается, либо отражается в обратном направлении. Если на пути волны не возникает препятствий, мы имеем дело с бегущей волной, которая переносит энергию в пространстве. Однако когда волна распространяется в ограниченном пространстве, происходит сложение бегущей и отраженной волн. Результат сложения представляет собой чередование областей максимумов и минимумов энергии и, таким образом, образуется **стоячая волна** (рис.1).

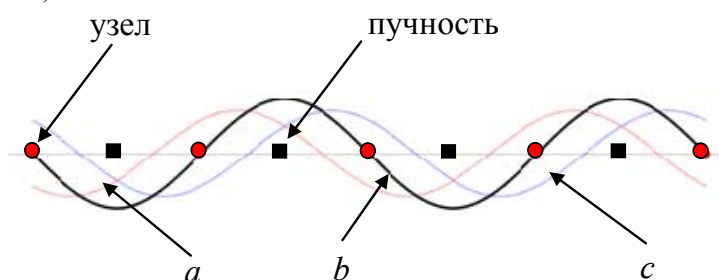


Рис. 1. Образование стоячей волны: а – бегущая волна; б – отраженная волна; с – стоячая волна

В точках среды [1]

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \pm m\pi, \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad (1)$$

где амплитуда колебаний достигает максимального значения, равного $2A$. В точках среды

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \pi, \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad (2)$$

где амплитуда колебаний обращается в нуль. Точки, в которых амплитуда колебаний максимальна, называются **пучностями стоячей волны**, а точки, в которых амплитуда колебаний равна нулю, называются **узлами стоячей волны**. Точки среды, находящиеся в узлах, колебаний не совершают. Расстояния между двумя соседними пучностями и двумя соседними узлами одинаковы и равны $\lambda/2$. Расстояние между соседними пучностью и узлом стоячей волны равно $\lambda/4$.

Стоячие волны отличаются по своим свойствам от бегущих волн. В стоячей волне не происходит переноса энергии, а только ее превращение из одной формы в другую. Стоячая волна допускает внутри себя только строго определенных кратных частот, соотносящиеся как целые числа $1:2:3:4:5\dots$, которые называются обертонами. Обертоны могут быть образованы по отношению к колеблющейся волне интервалы октавы, квинты, кварты и т.д. Стоячая волна является физическим объектом с корпускулярно-волновым дуализмом.

Эти свойства и закономерности стоячих волн постоянно проявляется в физических явлениях. Именно поэтому характеристики движения планет и спутников имеют строго целочисленные сочетания различных масштабов. На атомном уровне эта закономерность стоячих волн проявляется в виде энергетических уровней электронов в атомах и др.

Аналогичные идеи заложены в пифагорейском учении о гармонии. Пифагор разработал теорию гармонии, работая с монохордом. Он взял однострунный «монохорд», и измерил точные длины волны при проигрывании разных нот. Пифагор показал, что частоту (или скорость вибрации) каждой ноты можно представить в виде отношения между двумя частями струны, или двумя числами, отсюда термин «диатонические отношения». Посредством процесса последовательного деления частоты, он разработал восемь «чистых» тонов октавы, известных как диатоническая шкала.

В дальнейшем он разделил множественные части творения на большое число плоскостей, сфер или планов, каждой из которых он приписал тон, гармонический интервал, число, имя, цвет и форму (рис. 2).

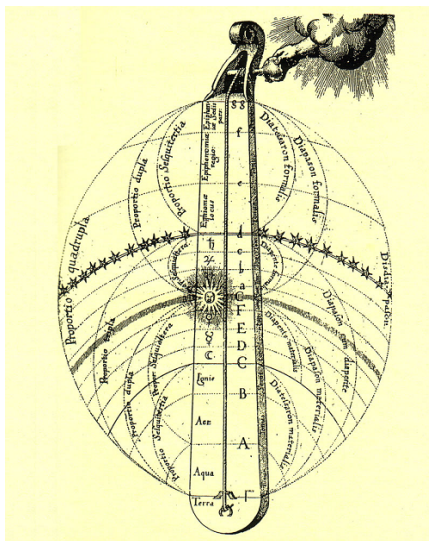


Рис. 2. Земной монохорд с его пропорциями и интервалами

Утвердив музыку как точную науку, Пифагор применил найденные им законы гармонических отношений ко всем феноменам Природы. Он установил при этом гармонические отношения между планетами, созвездиями и элементами. Примером этих гармонических отношений в космосе является гармония сфер И. Кеплера (рис. 3).

Абстрактные концепции гармонии, звука и цвета раскрывают структуры, состоящие из прямых и кривых линий, с помощью которых затем можно моделировать и познавать окружающий нас мир. Хотя мы можем видеть цвет и слышать звук, обычно мы не думаем о физической геометрической форме в двух или трех измерениях, которая будет точно представлять эти вибрации. Однако

известно, что звуковые вибрации могут образовывать определенные геометрические паттерны на плоскости, которые называются «фигурами Хладни».

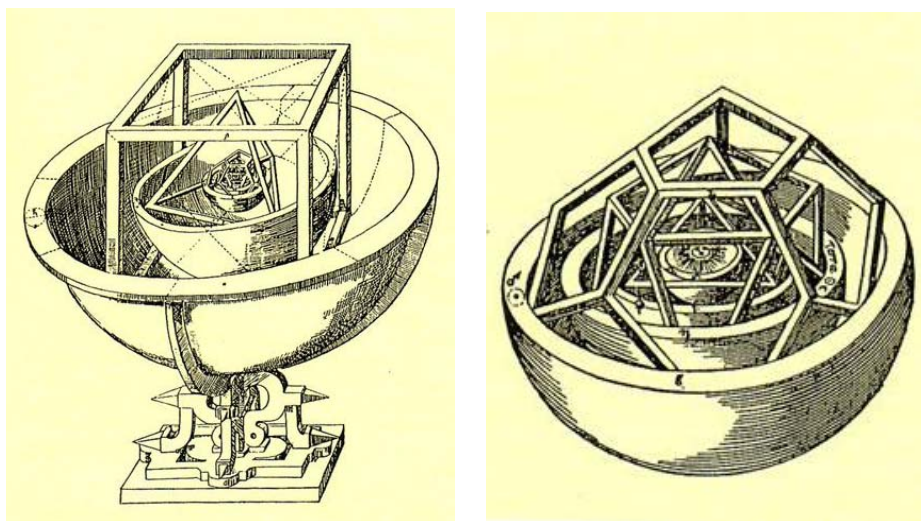


Рис. 3. Гармония сфер И. Кеплера

Изучая явления «кругов на полях», Джеральд Хокинс обнаружил, что некоторые закономерности повторяются, и общность всех паттернов выражается простыми двумерными формами, такими как треугольник, квадрат и шестиугольник, совершенно вписанными в окружность так, что все вершины формы касаются окружности. Он нашел, что площадь поверхностей внутренних геометрий, будучи разделена на площадь внешних кругов, демонстрировала отношения, ответственные за вибрации музыки в Октаве, - «диатонические отношения». Именно это показал Пифагор на однострунном «монохорде», только вместо отношения длин струны, здесь есть отношения геометрии плоских фигур, указывающее на то же самое. Таким образом, в двух измерениях мы можем понимать звук как «плоскую» геометрическую вибрацию (такую как треугольник), появляющуюся внутри «плоской» окружности. Эти факты Хоукинс сформулировал в виде теорем.

Теорема I. «Отношение диаметра R большого круга, описанного вокруг равностороннего треугольника, к диаметру r малого круга, вписанного в треугольник (рис. 4) $R:r$ равно 4:3».

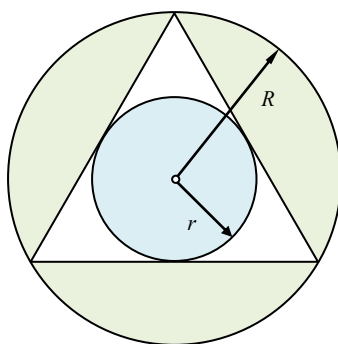


Рис. 4. Описанный и вписанный круги в равностороннем треугольнике

Теорема II. «Для равностороннего треугольника (рис. 1) отношение площадей описанного и вписанного кругов равно 4:1. Площадь кольца, образованного кругами, относится к площади вписанного круга как 3:1».

Теорема III. «Для квадрата отношение площадей описанного и вписанного кругов равно 2:1 (рис. 5). Если вписать второй квадрат внутри вписанного круга, в него снова вписать круг и продолжать эту процедуру до m -ного квадрата, тогда соотношение площадей внешнего описанного круга и наименьшего вписанного круга составит $2^m:1$ ».

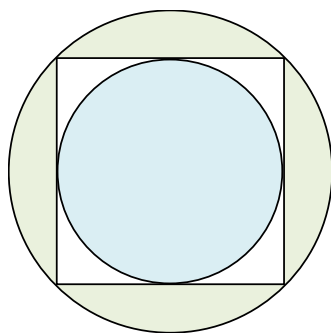


Рис. 5. Описанный и вписанный круги в квадрате

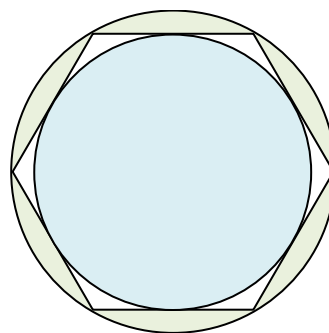


Рис. 6. Описанный и вписанный круги в шестиугольнике

Теорема IV. «Для правильного шестиугольника отношение площадей описанного и вписанного кругов равно 4:3 (рис. 6)».

Теоремы I-IV выражают диатонические соотношения площадей кругов в различных конфигурациях. В основе этих теорем лежит общий принцип, который может быть применим ко всем случаям правильных n -угольников.

Теорема. «Если $ABC\dots$ и т. д. до ∞ - есть правильный n -угольник, где $n \geq 3$, то:

1) площадь круга S_R , ограниченного описанной окружностью радиусом R , относится к площади круга S_r , ограниченного вписанной окружностью радиуса r , как

$$S_R : S_r = 1 : \cos^2 \frac{\pi}{n}; \quad (3)$$

2) их радиусы относятся как

$$R : r = 1 : \cos \frac{\pi}{n}. \quad (4)$$

Пусть $ABC\dots N$ - правильный n -угольник, где $n \geq 3$ - число сторон. R - радиус описанной около данного n -угольника окружности; r - радиус вписанной в данный n -угольник окружности; точка O - центр вписанной и описанной окружностей (рис. 7). Тогда $OA = OB = OC\dots = ON = R$, где R - радиус описанной окружности. Площади кругов, ограниченных этими окружностями, равны $S_R = \pi R^2$; $S_r = \pi r^2$.

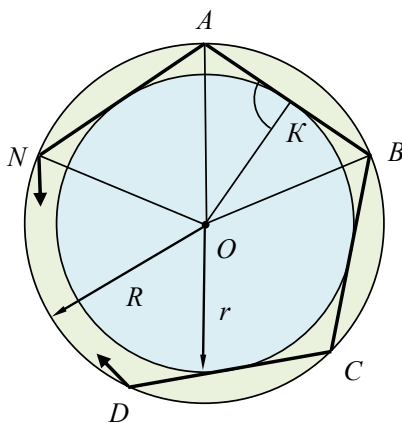


Рис. 7. Правильный n -угольник

По определению правильного n -угольника r является апофемой и высотой равносторонних треугольников, построенных на сторонах n -угольника, как на основании, с общей вершиной в центре O .

Рассмотрим такой треугольник AOB (рис. 8). В этом треугольнике: $AO=OB=R, OK = r$ - высота ΔAOB , поэтому $\angle OAK = \frac{\pi}{2}$.

Тогда

$$r = R \cdot \cos \angle AOK. \quad (5)$$

$\angle AOK = \frac{\alpha}{2}$; $\triangle AOB$ равносторонний, т. е.

$$r = R \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (6)$$

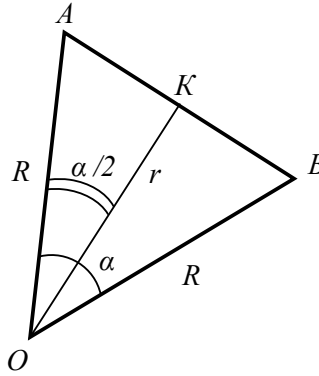


Рис. 8. Равносторонний треугольник правильного n-угольника

Из рисунка видно, что $\angle AOB = \alpha = \frac{2\pi}{n}$. Т. к. все треугольники, на которые можно разделить правильный n-угольник, равны между собой, а центральный угол равен $\frac{2\pi}{n}$, то

$$\alpha = \frac{2\pi}{n}, \text{ то } \frac{\alpha}{2} = \frac{\pi}{n}. \quad (7)$$

Подставим (7) в (6), получим

$$r = R \cos \frac{\pi}{n}. \quad (8)$$

Отсюда $R : r = 1 : \cos \frac{\pi}{n}$ – что и требовалось доказать.

Подставим (8) в выражение для площади вписанного круга

$$S_r = \pi r^2 = \pi R^2 \cos^2 \frac{\pi}{n}. \quad (9)$$

Тогда отношение площадей кругов, ограниченных описанной и вписанной окружностями, будет равно

$$S_R : S_r = \pi R^2 : \pi R^2 \cos^2 \frac{\pi}{n}. \quad (10)$$

Таким образом, получаем $S_R : S_r = 1 : \cos^2 \frac{\pi}{n}$, что и требовалось доказать.

Например:

$$1) n=3; \quad S_R : S_r = 1 : \cos^2 \frac{\pi}{3} = 1 : \cos^2 60^\circ = 1 : 0,5^2 = 1 : 0,25 = 4 : 1.$$

$$2) n=4; \quad S_R : S_r = 1 : \cos^2 \frac{\pi}{4} = 1 : \cos^2 \frac{\pi}{4} = 1 : \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = 1 : \frac{2}{4} = 1 : \frac{1}{2} = 2 : 1.$$

$$3) n=6; \quad S_R : S_r = 1 : \cos^2 \frac{\pi}{6} = 1 : \cos^2 \frac{\pi}{6} = 1 : \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 = 1 : \frac{3}{4} = 4 : 3.$$

И т.д. для любого n , вплоть до $n = \infty$.

Таким образом, гармония имеет количественное математическое выражение и реальное физическое подтверждение в виде стоячих волн и их взаимодействий. В древности законы гармонии были основным способом познания, способом сосуществования и единства с Вселенной и природой. Гармония является одним из ключей постижения целостности мира. Мир пронизан пропорциями, составляющими единый каркас Мироздания. Современным подтверждением древнего учения является, например, наличие гармонических отношений в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева. Поэтому необходим беспристрастный научный анализ древней мудрости, синтез древнего и современного научного знания, синтез науки и искусства, что-еще глубже усвоить и использовать единые законы гармонии окружающего нас мира.

Литература.

1. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. Т. 2. – М.: Наука, 1974, – 496 с.
2. Волошинов А.В. Пифагор: союз истины, добра и красоты. – М.: Просвещение, 1993, – 224 с.
3. Лобанов Ю.А., Орел А.Ф. Информационный обмен в природных процессах на основе Золотого сечения. – Томск, 2007, – 208 с.

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОСТРОЙКАХ ИЗ РАЗЛИЧНОГО МАТЕРИАЛА

И.В. Дорошенко, студент гр. 10720, К.Н. Орлова, ассистент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

E-mail: lestaks@rambler.ru

Причем одним из наиболее опасных естественных источников радиации являются строительные материалы и постройки из них. Причем различные материалы обладают различной способностью накапливать и излучать радиоактивные изотопы, основным продуктом распада которых является захватное гамма-излучение[1]. На основании вышеизложенных данных, вытекает необходимость и актуальность исследований радиационной обстановки в строениях из различных материалов.

Цель исследования: Определить уровень захватного гамма-излучения в постройках из различного материала.

Задачи:

- Произвести мощности дозы гамма-излучения в постройках из различного материала;
- Определить годовую дозу гамма-излучения, получаемую населением;
- Проанализировать полученные данные, произвести физическую интерпретацию результатов.

Источниками радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды естественными радиоактивными элементами могут быть природные образования (месторождения радиоактивных и некоторых других полезных ископаемых, горные породы, содержащие естественные радиоактивные элементы в повышенных количествах, природные воды, в т.ч. в нефтедобывающих районах Западной Сибири, с высокими содержаниями урана и продуктов его распада - радона, радия), а так же промышленные предприятия, ведущие добычу и глубокую переработку урановых и некоторых других типов руд; ГРЭС и ТЭЦ, работающие на некоторых типах углей, горючих сланцев, торфов [2].

Примерами регионов с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов на земном шаре могут служить пляжные пески штата Керала (Индия), которые в специальной литературе получили название месторождений монацитовых песков Траванкор, монацитосодержащие почвы провинции Гуангдонг (Китай), а так же район Пасус - де - Кальдес, провинции Минас-Жейрас (Бразилия) и некоторые другие участки нашей планеты, но с этими объектами повышенной естественной радиоактивности человек встречается крайне редко. В этих районах мощность экспозиционной дозы гамма - излучения достигает многих сотен и первых тысяч мкР/ч. Так, средняя экспозиционная доза гамма - излучения в районе пляжных песков в штате Керала около 150 мкР/ч, а в провинции Гуангдонг МЭД составляет 3,3 мГр/год (Eisenbud Gesell, 1997). Высокие содержания естественных радиоактивных элементов в некоторых типах горных пород обуславливают повышенный радиационный фон гамма - излучения в некоторых регионах и странах, например, Франции, Украине, Швеции и др [2].

В результате распада урана в почвенном воздухе этих районов, а так же в зданиях происходит интенсивное накопление радиоактивного газа без запаха и цвета - РАДОНА, основного радиационно - опасного фактора, сильно воздействующего на организм человека.

Проблема радонового загрязнения атмосферы - одна из самых важных в оценке среды обитания человека. Использование природных материалов (щебень гранита, квасцы, фосфориты и т.д.), содержащих высокие концентрации естественных радионуклидов, в качестве строительных материалов, наполнителей бетонов, фосфогипсов, шлаков и т.д. также приведет к увеличению мощности экспозиционной дозы гамма-излучения внутри сооружений, а также будет основной причиной накопления радона в помещениях.

В ходе работы исследовались характеристики гамма-излучения. Гамма-излучение - это коротковолновое излучение, с энергией $E_\gamma = 0,01-10$ МэВ. Гамма- излучение возникает при ядерных реакциях, α - и β -распадах радиоактивных ядер, элементарных частиц, при аннигиляции пар частица-античастица, а также при прохождении быстрых заряженных частиц через вещество. Гамма-излучение, сопровождающее распад радиоактивных ядер, испускается при переходах ядра из более возбужденного энергетического состояния в менее возбужденное или в основное.

Измерения производили с помощью дозиметра «Грач». Сфера применения этого дозиметра достаточно широка, его используют как в атомной энергетике, таможенной службе, так и в домашних условиях из за его удобных размеров и простоты использования.

Дозиметр гамма-излучения «Грач» имеет два измерительных канала: для измерения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения и для измерения дозы с независимым перезапуском этих величин. Измерение происходит непрерывно с постоянным уточнением результата, причем статистическая погрешность высвечивается на дисплее, т.е. можно получить результат с необходимой статистической точностью. При этом, если мощность дозы изменится больше, чем на 3,4 среднеквадратической погрешности, то автоматически произойдет перезапуск [3].

Проведение измерений дозиметрических характеристик производилось преимущественно в ясную погоду при атмосферном давлении 730-760 мм.рт.ст. Этот выбор обусловлен выявленной количественной зависимостью космических лучей и формирования облачности и осадков. Космические лучи могут более чем на 10 % изменять показания дозиметров. Поэтому для исключения этого влияния показания снимались при одинаковой ясной погоде и на одинаковом расстоянии 1 м. от грунта, строго в горизонтальном положении при величине относительной погрешности не более 7%. Измерения на высоте 1 м – это своеобразный стандарт, связанный с определенной геометрией и соотношением гамма- и бета-излучений и местоположением наиболее чувствительной части тела стоящего человека.

Произведенные измерения AMBIENTНОЙ эквивалентной дозы и мощности дозы гамма-излучения были сопоставлены с утвержденными нормами по радиационной безопасности. Согласно санитарным правилам СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», утвержденным 1 сентября 2009 года вместо НРБ-99, максимальная мощность эффективной дозы гамма-излучения на рабочем месте - 2,5 мкЗв/ч. При проведении обследований и оценке по показаниям дозиметра опасности облучения необходимо помнить, что последствия облучения определяются не мощностью дозы, а суммарной полученной дозой, т.е. мощностью дозы, умноженной на время, в течение которого облучается человек. Например, если мощность дозы составляет 0,11 мкЗв/ч, то облучение в течение года (8760 ч) создаст дозу ~1 мЗв – по СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» предел, который не должен превышать при техногенном облучении населения [4,5].

Рассмотрим полученные результаты измерения в жилых домах, построенных из различного материала (Таблица 1).

Таблица 1

Измерение радиационного фона в постройках из различного материала

Материал	Мощность дозы мкЗв/ч, годы постройки зданий (2000-2010)	Мощность дозы мкЗв/ч, годы постройки зданий (1970-1980)
Кирпич	0,08	0,12
Шлакоблок	0,13	0,19
Панельные постройки	0,10	0,12

Самые высокие значения мощности дозы 0,19 мкЗв/час соответствуют постройкам из шлакоблоков. Это ожидаемо ввиду высоких фоновых значений этих стройматериалов. Глубинная природа угля и шлака обуславливает высокую естественную радиоактивность шлакоблоков, то же самое наблюдается для гранита. Панельные постройки дают такие же показания, как и кирпичные дома, если

они были построены 30-40 лет назад. Но панельные постройки, как показано в таблице 2, изначально обладают повышенными значениями гамма-излучения. Также подтверждаются данные о накоплении захватного гамма-излучения в течение эксплуатации здания [6]. Дома построенные не более 5 лет назад дают практически фоновые значения местности. А дома, построенные 20-30 лет назад, имеют показания мощности дозы гамма-излучения на 0,02-0,03мкЗв/час больше, чем в домах, построенных недавно.

Максимальная доза гамма-излучения населения, проживающего в постройках из различного рассмотренного материала превышала допустимые пределы для построек из шлакоблоков.

Выводы:

1. Согласно оценке дозиметрических характеристик в постройках из различного материала на территории города Юрги, получены значения, в преимуществе соответствующие норме.
2. Повышенные значения мощности дозы гамма-излучения в жилых домах, построенных из шлакоблоков свидетельствуют о повышенном фоновом значении строительного материала, используемого для строительства зданий.
3. Повышенные значения мощности дозы гамма-излучения в жилых домах, построенных 30-40 лет назад свидетельствуют о накоплении радиоактивных изотопов строительными материалами, используемыми для строительства зданий. Причем накопление бетонными конструкциями выше, нежели кирпичными постройками.

Литература.

1. Введение в дозиметрию и защита от ионизирующих излучений [Текст]. Пособие для студентов. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет: 2008. – 145с.
2. <http://portal.tpu.ru/files/personal/rikhvanov/AutoPlay/Docs/index.files/glav.files/oglav.files/glava4.htm>
3. Дозиметр гамма-излучения ДКГ-03Д «Грач». Руководство по эксплуатации, 2005г.
4. СанПиН 2.6.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» от 7 июля 2009 года, N 47: Зарегистрировано в МинЮсте РФ 14 августа 2009 года, N 14534. 2009.
5. Федеральный закон ФЗ «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 года, N 3: Принят Государственной Думой 5 декабря 1995 года. 1996.
6. James E.Martin, Physics for radiation protection, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2006.

УРОВЕНЬ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В РАЙОНЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРОДА ЮРГА

А.А. Семенов, студент гр. 17290, К.Н. Орлова, ассистент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

E-mail: semenok@tpu.ru

По данным Международной комиссии по радиологической защите, в большинстве стран вклад техногенных источников, которые попали в окружающую среду в результате выбросов на предприятиях атомного цикла и атомных электростанциях, или в результате испытаний ядерного оружия, не превышает сотых долей процентов от общего годового облучения человека. Облучение человека в процессе его жизнедеятельности происходит как от естественных источников радиации, так и в процессе рабочей деятельности на обычных промышленных предприятиях.

При проведении геоэкологического радиационного мониторинга на территории города Юрги наблюдалось повышение максимальной дозы облучения [2]. В результате чего был сделан вывод о необходимости более детального исследования территории прилегающей к заводам.

Перед исследователями ставилась цель: определить вклад производственной деятельности промышленных объектов в годовую дозу облучения человека.

Для достижения поставленной цели решались задачи:

- ✓ Определить мощность дозы гамма-излучения на территории, прилегающей к промышленным объектам города Юрги, и на территории, свободной от промышленных объектов на расстоянии 1 км.
- ✓ Рассчитать годовую дозу облучения человека
- ✓ Произвести оценку дозы и мощности дозы гамма-излучения в различных районах города Юрги
- ✓ Рассчитать вклад промышленных объектов в общее облучение человека.
- ✓ Проанализировать полученные данные, установить предположительные причины повышения или понижения фона в тех или иных местах.

В ходе работы исследовалась мощность дозы гамма-излучения. Гамма-излучение - это коротковолновое излучение, с энергией $E_\gamma = 0,01-10$ МэВ. Прибор, используемый для определения мощности дозы гамма-излучения дозиметр «Грач» — измеряет дозу или мощность дозы гамма-излучения, полученную прибором (и тем, кто им пользуется) за некоторый промежуток времени.

Детектором дозиметра «Грач», служащим для преобразования явлений, вызываемых ионизирующими излучениями в электрический или другой сигнал, легко доступный для измерения, является ионизационный счетчик, по типу счётчика Гейгера, определяющий чувствительность дозиметра в 20000 имп/мкЗв. Дозиметр гамма-излучения «Грач» имеет два измерительных канала: для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения и для измерения дозы с независимым перезапуском этих величин. Измерение происходит непрерывно с постоянным уточнением результата, причем статистическая погрешность высвечивается на дисплее, т.е. можно получить результат с необходимой статистической точностью. Измерения проводились при статистической погрешности не более 8%.

Проведение измерений дозиметрических характеристик производилось преимущественно в ясную погоду и на одинаковом расстоянии 1 м. от грунта, строго в горизонтальном положении. На карте-схеме города Юрги (рис. 1) пронумерованы точки, в которых производились измерения уровня гамма-излучения. Были выбраны районы с самыми крупными заводами и три жилых района города. Замеры производились по периметру каждого завода по три замера в каждой точке. В таблице 1 отражены полученные численные значения мощности дозы гамма-излучения с рассчитанной годовой дозой гамма-излучения.

Таблица 1

Карточка регистрации мощности эквивалентной дозы гамма-излучения

Место измерения (номер точки на карте-схеме)	Дополнительная характеристика места измерения	Мощность дозы, Н мкЗв/ч, среднее значение	Годовая доза облучения, мЗв
1	«Технониколь»	0,11	0,93
2	Юргинский машиностроительный завод	0,14	1,23
3	Абразивный завод	0,11	0,93
4	Ферросплавы	0,15	1,31
5,6,7	Жилой район	0,10	0,91

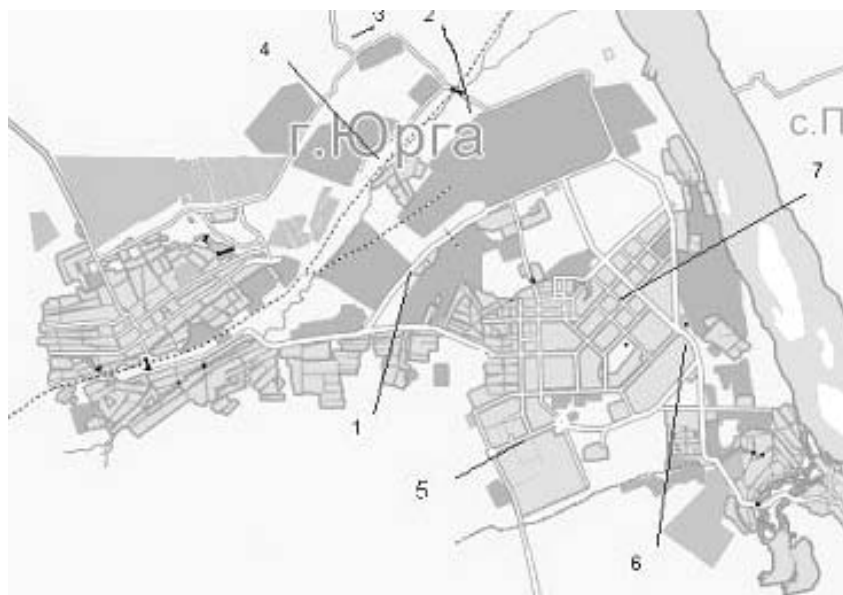


Рис. 1. Карта-схема города Юрги

Согласно санитарным правилам СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», утвержденным 1 сентября 2009 года вместо НРБ-99, максимальная мощность эффективной дозы гамма-излучения на рабочем месте - 2,5 мкЗв/ч. При проведении обследований и оцен-

ке по показаниям дозиметра опасности облучения необходимо помнить, что последствия облучения определяются не мощностью дозы, а суммарной полученной дозой, т.е. мощностью дозы, умноженной на время, в течение которого облучается человек. Например, если мощность дозы составляет 0,11 мкЗв/ч, то облучение в течение года (8760 ч) создаст дозу ~1 мЗв – по СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» предел, который не должен превышать при техногенном облучении населения. Небольшие превышения характерны для всех исследуемых заводов. Значения, превышающие норму 1 мЗв, определены для двух точек. Эта местность является близлежащей к машиностроительному заводу, точнее к ТЭЦ и к ферросплавному заводу.

Высокие значения можно объяснить используемым топливом в ТЭЦ, находящимися неподалеку шлаковыми насыпями. Для ферросплавного завода превышения характерны в основном для местности, где находятся хранилища для осаждения шлама.

Выводы:

1. Результаты исследования показывают несомненную актуальность проведения радиационного мониторинга промышленных предприятий.

2. Согласно оценке дозиметрических характеристик значения дозы гамма-излучения, превышающие норму характерны для территорий машиностроительного и ферросплавного завода.

3. Повышения фонового значения годовой дозы гамма-излучения вероятнее всего обусловлены используемым топливом и расположением хранилищ отходов промышленности.

4. Вклад данных промышленных объектов в общую годовую дозу облучения оценивается $\approx 0,17$ мЗв/год

Полученные результаты составляют радиэкологический паспорт промышленных объектов города Юрга.

Литература.

1. СанПиН 2.6.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» от 7 июля 2009 года, N 47: Зарегистрировано в МинЮсте РФ 14 августа 2009 года, N 14534. 2009.
2. Федеральный закон ФЗ «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 года, N 3: Принят Государственной Думой 5 декабря 1995 года. 1996.
3. Орлова К.Н. Исследование уровня радиационной безопасности на территории города Юрги // Вестник Кузбасского государственного технического университета [Вестник КузГТУ] / Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ). — 2011. № 6. С. 35-37.

ОПТИЧЕСКИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ШКАФ КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*А.А. Галева, студент гр. 10300, А.Н. Ивкин, студент гр. 10300, 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) 64432
E-mail: sobolevaeno@mail.ru*

Не секрет, что большинство населения на Земле пользуется Интернетом - глобальной сетью, объединяющей огромное количество компьютеров по всему земному шару. В настоящее время существует множество способов соединения с сетью Интернет и одним из доступных является пассивная оптическая сеть. Для ее реализации используется специальное оборудование, которое размещается на стенах подъезда жилого дома. Такое оборудование носит название оптический распределительный шкаф, фото которого изображено на рис. 1. Оптический распределительный шкаф (ОРШ) предназначен для коммутации магистрального кабеля через оптический сплиттер с абонентскими оптическими кабелями распределительной сети. В шкафу размещаются сплайс-пластины, в которых обеспечиваются постоянные неразъемные соединения оптических волокон.

Целью нашей работы является исследование электромагнитных излучений распределительного шкафа, расположенного на стенах подъезда жилого дома. Перед нами были поставлены следующие задачи:

- произвести измерения величины электромагнитного излучения распределительного шкафа с помощью прибора АТТ-2592;
- сравнить результаты измерений с допустимыми нормами, установленных СанПиН.



Рис.1. Оптический распределительный шкаф

Как известно, электромагнитные поля (волны) возникают при ускоренном движении электрических зарядов. Электромагнитные волны – это взаимосвязанное распространение в пространстве изменяющихся электрического и магнитного полей. Совокупность этих полей, неразрывно связанных друг с другом называется электромагнитным полем (ЭМП).

Для измерения электромагнитного излучения использовали портативный прибор АТТ-2592, предназначенный для безопасного измерения характеристик электромагнитного фона (поля) изотропным методом. Прибор снабжен 3-канальным датчиком, позволяющим проводить измерения одновременно по трем осям: x , y , z . АТТ-2592 может применяться для измерения излучений создаваемых беспроводными средствами связи (CW, CDMA, DECT, GSM), радиостанциями, беспроводными устройствами Wi-Fi, электробытовыми приборами, скрытыми источниками сигнала и другими источниками высокочастотных электромагнитных излучений.

Измерения были выполнены с передней и тыльной сторон оптического распределительного шкафа. Замеры с тыльной стороны производились непосредственно в квартирах, т.к. стена, на которой крепится оборудование, граничит с жилой площадью квартиры. Эксперимент проводился в кирпичных и панельных домах нашего города. Максимальные и максимальные среднее значения напряженности электрического и магнитного полей, а также плотности магнитного потока энергии, полученные с тыльной стороны ОРШ, представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1 напряженность электрического поля (E , mV/m), напряженность магнитного поля (H , mA/m) и плотность потока энергии (j , mW/m^2), полученные при измерении через панельную стену дома больше характеристик ЭМП, измеренных через кирпичную стену дома.

Для получения сравнительного анализа в таблицу 2 сведены средние значения результатов ЭМП, полученные как с передней, так и с тыльной сторон оптического распределительного шкафа. Из таблицы 2 вытекают следующие неравенства:

$E_{\text{кир.ст.}} < E_{\text{пан.ст.}} < E_{\text{пер.ст.}}$, где $E_{\text{кир.ст.}}$ – напряженность электрического поля, измеренная через кирпичную стену дома, $E_{\text{пан.ст.}}$ – напряженность электрического поля, измеренная через панельную стену дома, $E_{\text{пер.ст.}}$ – напряженность электрического поля, измеренная с передней стороны ОРШ. Аналогичные соотношения наблюдаются для напряженностей магнитного поля и плотности потока энергии. Результаты полученных измерений не имеют отклонений от норм, установленных СанПиН [1].

Таблица 1

Максимальные и максимальные среднее значения напряженности электрического и магнитного полей и плотности магнитного потока энергии с тыльной стороны ОРШ

Оси	Параметры		
	E, mV/m	H, mA/m	j, mW/m ²
через панельную стену дома			
максимальное значение			
x	274	0.90	0.29
y	256	0.68	0.17
z	300	0.82	0.35
максимальное среднее значение			
x	139	0.42	0.25
y	145	0.31	0.15
z	150	0.42	0.28
через кирпичную стену дома			
максимальное значение			
x	243	0.81	0.24
y	224	0.59	0.15
z	275	0.72	0.31
максимальное среднее значение			
x	124	0.35	0.21
y	130	0.27	0.12
z	124	0.32	0.21

Таблица 2

Средние результаты измерений напряженности электрического и магнитного полей и плотности магнитного потока энергии

параметры место измерения	E, mV/m	H, mA/m	j, mW/m ²
с передней стороны ОРШ	718	1.91	1.59
через панельную стену (с тыльной стороны ОРШ)	210	0.56	0.25
через кирпичную стену (с тыльной стороны ОРШ)	187	0.54	0.21

В соответствии с СанПиН напряженность электромагнитных полей не должна превышать:

1) по электрической составляющей: в диапазоне частот 60 кГц-3 МГц-50 В/м; 3-30 МГц-20 В/м; 30-50 МГц-10 В/м; 50-300МГц-5 В/м;

2) по магнитной составляющей: в диапазоне частот 60кГц-1,5МГц-5А/м; 30МГц-50МГц-0,3 А/м.

Выводы:

1) в ходе эксперимента получены максимальные, максимальные среднее, а также средние значения напряженности электрического и магнитного полей и плотности магнитного потока энергии с передней и тыльной стороны ОРШ;

2) в соответствии с СанПиН полученные результаты измерений не превышают допустимых норм;

3) оптический распределительный шкаф не является опасным источником электромагнитного излучения для жильцов дома.

Литература.

1. Санитарные нормы и правила СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ В ПРОЦЕССЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Е.В. Полицинский, к. пед.н., доцент

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

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (384-51) 6-44-32

E-mail: ewpeno@mail.ru

В настоящее время считается, что решение задач является основным компонентом процесса обучения точным наукам. О значении решения задач при обучении физике достаточно полно и удачно на наш взгляд говорится в «Теории и методике обучения физике в школе» под редакцией С.Е. Каменецкого и Н.С. Пурышевой. «В процессе решения задач знания учащихся конкретизируются, создаётся понимание сущности явлений, физические понятия и величины приобретают реальный смысл, у ученика появляется способность рассуждать, устанавливая причинно-следственные связи, выделять главное и отбрасывать несущественное. Решение задач позволяет сделать знания осознанными, избавиться от формализма» [5, С. 319 -320]. При этом отмечается, что учащиеся обязательно должны решать задачи, так как в противном случае они не усвоят понятия и законы физики, либо их знания будут формальными. В ходе решения задачи субъект решения совершает мыслительные действия, направленные от знания формулировок законов и начальных условий исследуемого процесса к установлению взаимосвязи между известными и неизвестными характеристиками этого процесса, объяснению и количественной оценке его результата. Таким образом, процесс решения задач способствует более глубокому осмыслению изученных явлений и законов, формированию целостного представления об окружающем мире. Поэтому, по способности решать физические задачи зачастую судят о глубине понимания субъектом физических законов и явлений.

В методической литературе встречаются различные точки зрения по вопросу классификации физических задач. Исходя из структуры и средств, необходимых для решения поставленной задачи, их можно разделить на элементарные, стандартные, нестандартные и оригинальные. Элементарная задача – это задача, для решения которой необходимо и достаточно верно использовать один соответствующий физический закон. Стандартная задача – это задача, для решения которой необходимо и достаточно привлечь систему «обычных» знаний и «стандартных» методов и приёмов. Нестандартная задача – задача, в процессе решения которой применение «обычных» законов и методов недостаточно: система уравнений получается незамкнутой. Оригинальной (олимпиадной) называют нестандартную задачу, при решении которой догадка является определяющей по сравнению с обычными знаниями и методами [1].

Именно умения и способности выпускников школ решать нестандартные и олимпиадные задачи являются гарантией поступления в настоящее время в престижные технические вузы на престижные направления подготовки.

Рекомендации по стратегии и тактике поисковой деятельности по преобразованию нестандартной задачи в стандартную называются эвристиками или эвристическими приёмами. И.Л. Юфанова рассматривает «эвристические рассуждения» как модель построения умозаключений, следуя которой ученик должен решать задачи [6]. Она выделяет шесть способов построения моделей: 1) введение вспомогательных элементов; 2) упрощение ситуации; 3) специализация; 4) возвращение к определениям; 5) доказательство «от противного»; 6) использование аналогий. М.С. Красин опираясь на научные разработки различных исследователей, собственные исследования и педагогический опыт выделяет систему эвристических приёмов решения задач по физике, состоящую из 30 приёмов, объединённых в 6 семейств [3. С.18-22]. Данные семейства, включающие систему приёмов, а также основные идеи и принципы данных приёмов представлены нами в приложении 5. Приёмы первых пяти семейств основаны на использовании в решении физических задач методологических принципов (установленных на основании обобщения опытных данных, правил).

Многими специалистами в области методики обучения физики (С.В. Бубликов, С.Е. Каменецкий, Ю.И. Дик, Н.С. Пурышева, Г.Я. Мякишев, А.А. Пинский и др.) отмечают большой эвристический потенциал и эффективность использования при решении физических задач методологических принципов физики, таких как: принцип симметрии и идея сохранения; принцип запрета; относительности; суперпозиции; соответствия; причинности; дополнительности и соотношения неопределённости; принцип простоты и принцип толерантности. Как отмечают С.В. Бубликов и А.С. Кондратьев, использование данных методологических принципов часто позволяет решить задачу с помощью эле-

ментарных выкладок, которые были бы громоздкими при использовании частных законов, а иногда удаётся строго получить ответ, вообще не вписывая никаких уравнений [2].

М.С. Красин пишет: «Первые пять семейств данной системы логических операций в ходе решения.... Шестое семейство указывает на огромную роль психологического состояния субъекта решения в успешности решения задачи. Предназначение этих приёмов заключается в том, чтобы помочь субъекту решения создать для своей поисковой мыслительной деятельности максимально комфортные условия и в максимальной степени использовать собственный субъективный опыт восприятия рассматриваемых процессов» [3. С.21]. Отмечая высокую эффективность целенаправленного обучения учащихся эвристическим приёмам решения физических задач, М.С. Красин отмечает, что для освоивших данный, конкретный способ решения, он перестаёт быть эвристическим и превращается в алгоритмический, при решении подобных задач.

Таблица 1

Система эвристических приёмов поиска решения физических задач

Сем-ство приёмов	Название приёма	Основные идеи и принципы приёма
Анализ условий и постановка задачи	<p>Анализ требований, анализ данных.</p> <p>Сближение в терминологии данных и цели.</p> <p>Перекодирование текста в схему.</p> <p>Идеализация свойств и явлений.</p> <p>Подбор дополнительных данных.</p> <p>Отсев лишних условий.</p> <p>Толерантность в выборе модели задачи и способа решения.</p>	<p>Анализ данных, требований и конфликта, т.е. основной трудности задачи.</p> <p>Замена терминов определениями и наоборот, подведение условий и цели под логические категории, категории качество и количество.</p> <p>Краткая запись условия в виде рисунка (рисунков) или схемы.</p> <p>Разработка моделей с помощью упрощения, абстрагирования, благодаря чему задача становится решаемой.</p> <p>Использование информации из справочников необходимой для решения .</p> <p>Исключение информации, не влияющей на решение.</p> <p>Попытка решения разными способами, поиск наиболее оптимального.</p>
Методологический подход	<p>Взгляд на проблему в целом.</p> <p>Аналогия и опора на предыдущие решения.</p> <p>Поиск и учёт симметрии</p> <p>Опора на сохраняющиеся величины.</p> <p>Взгляд из разных систем отсчёта, с разных сторон.</p> <p>Представить в виде суперпозиции.</p>	<p>Выделение главного.</p> <p>Поиск подобия с переходом к действиям по образцу.</p> <p>Центральной, осевой, поворота, параллельного переноса и т.д.</p> <p>Сохранения заряда, массы, энергии, импульса, количества вещества, массового числа и т.д.</p> <p>Из разных ИСО, не ИСО, вид сверху, снизу, сбоку и т.д.</p> <p>Представить процесс или объект как результат наложения нескольких более простых объектов или процессов.</p>
Поиск новых связей	<p>Учёт согласованности изменений</p> <p>Уточнение структуры модели, учёт особенностей системы, выдвижение новых гипотез.</p> <p>Использование геометрических образов.</p> <p>Использование графиков.</p>	<p>Учёт кинематических связей, динамических изменений, энергетических переходов.</p> <p>Применение геометрических образов векторных величин, картины силовых линий, эквипотенциальных поверхностей.</p> <p>Работа с графиками для изучения динамики процесса, его продолжительности, поиска минимумов и максимумов.</p>

Переструктурирование задачи	<p>Разделение на части.</p> <p>Периодизация процесса.</p> <p>Введение вспомогательных элементов и процессов.</p> <p>Комбинаторика явлений и объектов.</p> <p>Решение обратной задачи.</p>	<p>Деление задачи на подзадачи, разделение тела на части, процесса в пространстве и во времени.</p> <p>Чётность и нечётность, гармонический характер изменений величин на определённом интервале времени и т.д.</p> <p>Введение дополнительных физических величин, разграничительных перегородок, измерительных приборов, взаимно скомпенсированных процессов.</p> <p>Изменение взаимного расположения объектов, смена последовательности процессов, замена реального на «зеркальное», смещение, выражение частично через себя.</p> <p>Рассмотреть обратный процесс, считать известную величину искомой, а искомую известной.</p>
Изменение уровня обобщённости	<p>Разработка более общей задачи.</p> <p>Решение более конкретной задачи.</p> <p>Решение более идеализированной задачи.</p>	<p>Решение в общем виде и конкретизация результата, сравнение по порядку величины.</p> <p>Предварительное решение более конкретной задачи и обобщение результата, оценка окончания процесса проверка результата подстановкой конкретных значений.</p> <p>Предварительное решение более идеализированной задачи и обобщение результата, оценка окончания процесса, проверка результата подстановкой идеализированных значений.</p>
Опора на психологию	<p>Сознательное регулирование уверенности в себе.</p> <p>Вживание в образ явлений задачи.</p> <p>Мозговая атака.</p> <p>Смена условий работы.</p> <p>Переключение на другие задачи, другой вид деятельности.</p>	<p>Периодическое сознательное повышение или понижение уровня уверенности в собственных силах, правоте выбранных гипотез и моделей.</p> <p>Метод эмпатии: принятие роли объекта или процесса на себя, метод Маленьких Человечков: представление процесса или объекта в виде сгруппированного особым образом объединения маленьких одинаково разумных, подчиняющихся приказам, человечков.</p> <p>Отделение во времени этапа выдвижения как можно большего количества всевозможных гипотез, в том числе маловероятных и взаимно противоположных, от этапа анализа достоинств и недостатков выдвинутых гипотез, их принятия или опровержения.</p> <p>Смена положения тела, рабочих инструментов, формы мыслительной деятельности: умственный анализ, запись мыслей, проговаривание вслух отдельных этапов решения.</p> <p>Временное переключение на решение других задач, на другой вид деятельности, отдых.</p>

Рассмотрим решения конкретных физических задач с использованием эвристических приёмов [4].

Пример 1. Льдина площадью 1 м^2 имеет надводную часть высотой 10 см . Определить работу при погружении льдины.

Дано:	СИ
$S = 1 \text{ м}^2$	
$h = 10 \text{ см}$	0,1 м
$\rho_B = 10^3 \text{ кг/м}^3$	
$A = ?$	

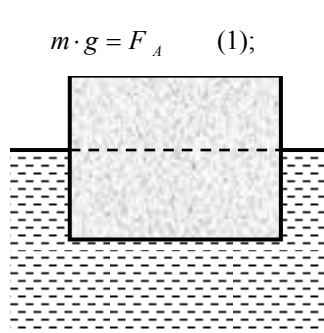


Рис.1. К примеру 1

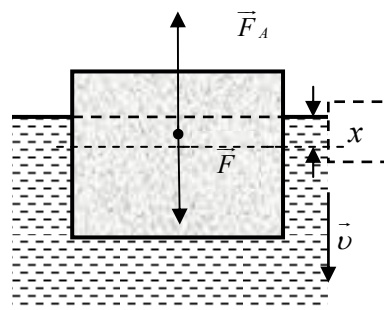


Рис.2. К примеру 1

При равномерном погружении внешняя сила \vec{F} численно равна избыточной силе Архимеда, возникающей при погружении надводной части льдины на величину x ,

$$F = F'_A = \rho_B \cdot g \cdot S \cdot x \quad (1).$$

Сила F – переменная сила. Процесс с переменным параметром - сложный процесс. Разобьем его на простые процессы с постоянной силой F . Для этого всё перемещение льдины разобьем на бесконечно малые перемещения dx . Работа dA на этом участке определяется выражением

$$dA = F dx \cos 0^\circ \quad (2).$$

Работа при полном погружении равна сумме элементарных работ.

$$A = \int dA \quad (3).$$

Подставив (1) в (2), а его в (3), получим

$$A = \int_0^h \rho_B \cdot g \cdot S \cdot x dx = \rho_B \cdot g \cdot S \cdot \int_0^h x dx = \frac{\rho_B \cdot g \cdot S \cdot h^2}{2}, \quad A = \frac{10^3 \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot 0,1^2}{2} = 49 \text{ Дж}.$$

Эту задачу можно решить и иначе, заменив эквивалентной простой задачей, задачей о работе постоянной силы, равной среднему значению избыточной силы Архимеда. Это один из приёмов в решении задач со сложным объектом. Отметим, что, как правило, в процессе решения задач используется не один, а несколько выделенных в таблице 1 приёмов. Приведем пример.

Пример 2. Небольшая шайба соскальзывает без начальной скорости с совершенно гладкой горки высотой h_1 имеющей горизонтальный трамплин. При какой высоте h трамплина шайба пролетит наибольшее расстояние S . Чему оно равно?

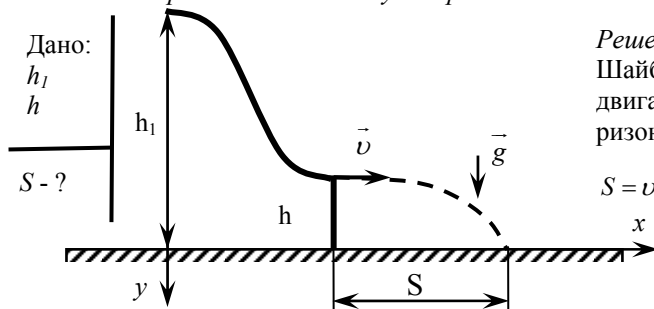


Рис.3. К примеру 2

Решение:

Шайба, соскользнув с трамплина, будет двигаться так же как тело, брошенное горизонтально со скоростью v (рис. 3).

$$S = v \cdot t \quad (1); \quad h = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (2). \quad \text{Из (1)} \Rightarrow t = \frac{S}{v} \quad (3);$$

$$S = v \cdot t \quad (1); \quad h = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (2). \quad \text{Из (1)} \Rightarrow t = \frac{S}{v} \quad (3); \quad (3) \rightarrow (2): h = \frac{g \cdot S^2}{2 \cdot v^2}, \quad 2 \cdot h \cdot v^2 = g \cdot S^2.$$

$$S = \sqrt{2 \cdot h \cdot v^2 / g} = v \cdot \sqrt{2 \cdot h / g} \quad (4)$$

Тело соскальзывает с горки без начальной скорости ($v_0 = 0$) и у трамплина приобретает скорость v , которую можно найти, используя законы кинематики.

$$h_1 - h = \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad 2 \cdot g \cdot (h_1 - h) = v^2;$$

$$v = \sqrt{2g(h_1 - h)} \quad (5); \quad (5) \rightarrow (4); \quad S = \sqrt{2g(h_1 - h)} \frac{2h}{g} = \sqrt{4h(h_1 - h)}.$$

Т.е. чем больше $(h_1 - h)$, тем дальше улетит шайба.

В решении этой задачи можно выделить следующие приемы:

- идеализация свойств и явлений (при заданном в условии упрощении – совершенно гладкая горка, мы считаем, что воздух не оказывает сопротивления движению шайбы);
- аналогия и опора на предыдущие решения (движение шайбы после отрыва от трамплина аналогично движению тела брошенного горизонтально со скоростью v);
- разделение на части (условно делим задачу на две: 1) используя прием «аналогия и опора на предыдущие решения» выражаем S ; 2) используя законы кинематики, выражаем через заданные нам по условию задачи величину v необходимую для нахождения S .

Литература.

1. Беликов Б.С. Решение задач по физике. Общие методы / Б.С. Беликов. – М.: Высшая школа, 1986. – 256с.
2. Бубликов С.В., Кондратьев А.С. Методологические основы решения задач по физике в средней школе // Учебная физика, 1998, №5. – Глазов: Аргон, 1998. – с.46 – 52.
3. Красин М.С. Система эвристических приёмов решения задач по физике: теория методика, примеры: учебно-методическое пособие / М.С. Красин. – Калуга: Калужский государственный педагогический университет им. К.Э. Циолковского, 2005. – 148с.
4. Полицинский Е.В. Физика. Руководство к выполнению контрольных работ и индивидуальных домашних заданий: учебно-методическое пособие / Е.В. Полицинский, А.В. Градобоев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 194 с.
5. Теория и методика обучения физике в школе. Общие вопросы: под ред. С. Е. Каменецкого и Н. С. Пурьшевой М.: ACADEMIA. – 2000. – 367с.
6. Юфанова И.А. Элементы управления мыслительной деятельностью учащихся при решении задач по физике в средней школе: Автореф. дис. канд. пед. наук / И.А. Юфанова. – М., 1974. – 26с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО УРОВНЮ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

В.В. Деманова, студент гр. 10720, К.Н. Орлова, ассистент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

E-mail: lestaks@rambler.ru

Космическая радиация врывается в верхние слои атмосферы Земли, которая обеспечивает эффективную защиту для всего живого, не пропуская большую часть радиоактивных частиц. Космические лучи состоят из «галактических» частиц, которые происходят за пределами Солнечной системы и «солнечных» частиц, испускаемых солнцем. Солнечная радиация – энергичные заряженные частицы – электроны, протоны и ядра, инжектированные Солнцем в межпланетное пространство. Галактическая радиация – ядра различных химических элементов с кинетической энергией более нескольких десятков МэВ/нуклон, а также электронов и позитронов с $E > 10$ МэВ. Космические лучи состоят из атомных частиц высоких энергий, около 87% которых составляют протоны. Около 11% из них альфа-частиц, примерно 1% более тяжелые атомы, а остальные 1% являются электроны. В атмосфере «солнечные» частицы производят каскады ядерного взаимодействия, которые дают много вторичных частиц, которые играют важную роль в производстве космических радионуклидов. В основном вторичным продуктом распада большинства космических частиц будет являться гамма-излучение.

Солнце - магнитно-активная звезда. Вариации магнитного поля Солнца вызывают разнообразные эффекты, такие как солнечные пятна, солнечные вспышки, вариации солнечного ветра и т. д., что на Земле вызывает полярные сияния в высоких и средних широтах и геомагнитные бури, которые негативно сказываются на работе средств связи, средств передачи электроэнергии, а также нега-

тивно воздействует на живые организмы, вызывая у людей головную боль и плохое самочувствие (у людей, чувствительных к магнитным бурям) [1].

Предполагается, что солнечная активность играет большую роль в формировании и развитии Солнечной системы. Она также оказывает влияние на структуру земной атмосферы.

Электромагнитная составляющая солнечной радиации распространяется со скоростью света и проникает в земную атмосферу. До земной поверхности солнечная радиация доходит в виде прямой и рассеянной радиации. Всего Земля получает от Солнца менее одной двухмиллиардной его излучения. Спектральный диапазон электромагнитного излучения Солнца очень широк - от радиоволн до рентгеновских лучей - однако максимум его интенсивности приходится на видимую (жёлто-зелёную) часть спектра.

Существует также корпускулярная часть солнечной радиации, состоящая преимущественно из протонов, движущихся от Солнца со скоростями 300-1500 км/с. Во время солнечных вспышек образуются также частицы больших энергий (в основном протоны и электроны), образующие солнечную компоненту космических лучей

Энергетический вклад корпускулярной составляющей солнечной радиации в её общую интенсивность невелик по сравнению с электромагнитной. Поэтому в ряде приложений термин «солнечная радиация» используют в узком смысле, имея в виду только её электромагнитную часть [2].

Солнечно-земные связи проявляются двояко, в зависимости от того, плавно или скачкообразно происходит перераспределение энергии солнечных возмущений внутри магнитосферы. В первом случае Солнечно-Земные связи проявляются в форме ритмических колебаний геофизических параметров (11-летних, 27-дневных и др.). Скачкообразные изменения связывают с так называемым триггерным механизмом, который применим к процессам или системам, находящимся в неустойчивом состоянии, близком к критическому. В этом случае небольшое изменение критического параметра (давления, силы тока, концентрации частиц и т.п.) приводит к качественному изменению хода данного явления или вызывает новое явление. Для примера можно указать на явление образования внетропических циклонов при геомагнитных возмущениях. Энергия геомагнитного возмущения преобразуется в энергию инфракрасного излучения. Последнее создаёт небольшой дополнительный разогрев тропосферы, в результате которого и развивается её вертикальная неустойчивость. При этом энергия развитой неустойчивости может на два порядка превышать энергию первоначального возмущения.

Изучение Солнечно-Земных связей является не только фундаментальной научной проблемой, но и имеет большое прогностическое значение. Прогнозы состояния магнитосферы и других оболочек Земли крайне необходимы для решения практических задач в области космонавтики, радиосвязи, транспорта, метеорологии и климатологии, сельского хозяйства, биологии и медицины.

Однако вклад солнечной радиации в общий фоновый уровень излучения будет различаться в зависимости от местоположения, географических координат, высоты над уровнем моря и многих других факторов.

Цель исследования: определить солнечную активность по уровню гамма-излучения.

Задачи:

- Определить мощность дозы гамма-излучения в ясную погоду
- Определить мощность дозы гамма-излучения в слабо облачную погоду
- Определить мощность дозы в сильно облачную погоду
- Проанализировать солнечную активность.

При прохождении излучения через атмосферу наблюдаются высотный, барометрический и геомагнитный эффекты:

1. Высотный эффект – зависимость интенсивности излучения I от высоты точки наблюдения над уровнем моря H . Чем выше точка наблюдения, тем больше будет вклад космического излучения. Наблюдения проводились на высоте 200-300 метров над уровнем море. Эта высота, соответствует большинству городов территории Российской Федерации.
2. Барометрический эффект – зависимость интенсивности космического излучения I от атмосферного давления p в точке наблюдения. Барометрический эффект определяется формулой:

$$b = \frac{1 * \Delta I}{I * \Delta p}$$

3. Геомагнитные эффекты (широтный и долготный) - зависимость интенсивности и энергетического спектра космического излучения от геомагнитных координат точки наблюдения.

4. Проведение измерений дозиметрических характеристик производилось в течение осени 2013 года. Замеры производились ежедневно в 14 часов дня, так как это время наибольшей солнечной активности. Показания снимались на одинаковом расстоянии 1 м. от грунта, строго в горизонтальном положении при величине относительной погрешности не более 10% [2]. Измерения на высоте 1 м – это своеобразный стандарт, связанный с определенной геометрией и соотношением гамма-излучений, и местоположением наиболее чувствительной части тела стоящего человека. При проведении эксперимента погода условно подразделилась на ясную, облачную и пасмурную. Экспериментальные данные обрабатывались в программе ORIGIN и проводилась аппроксимация результирующей кривой. Результаты показаны на рис. 1.

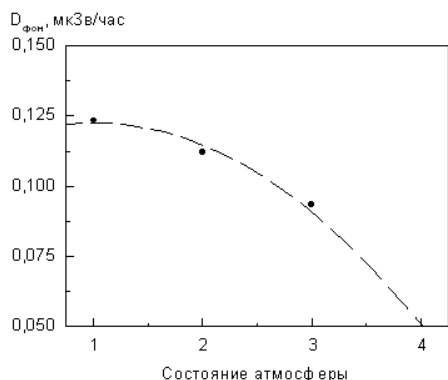


Рис. 1. Зависимость фонового значения гамма-излучения от типа погоды, осень 2013:
1 – ясная погода, 2 – облачная погода,
3 – пасмурная погода

Литература.

1. <http://www.infuture.ru/article/4185>
2. James E. Martin, Physics for radiation protection, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2006.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЧИСТОТЫ ВОЗДУХА ГОРОДА ЮРГА МЕТОДОМ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ

Н.А. Бударина, студент гр. 10720, К.Н. Орлова, ассистент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

Email: lestaks@rambler.ru

Формирование и развитие природных экосистем напрямую зависит от степени воздействия техногенных факторов различной природы. Не менее важное значение имеют и адаптивные возможности биологических систем, которые на современном этапе позволяют выявить биоиндикационные исследования, ставшие важной частью экологического мониторинга.

Цель работы: Изучение качественного состояния атмосферы города Юрга методом лишеноиндикации.

Задачи:

1. Выявить видовой состав лишайников, встречающихся в городе;
2. Провести количественный анализ загрязненности воздуха методом проективного покрытия;
3. Сделать вывод о степени загрязненности воздуха в городе.

Одним из основных объектов глобального биологического мониторинга выбраны лишайники. Лишайники представляют собой весьма своеобразную группу споровых растений, состоящих из двух компонентов - гриба и одноклеточной, реже нитчатой, водоросли, которые живут совместно как целостный организм. При этом функция основного размножения и питания за счет субстрата принадлежит грибу, а функция фотосинтеза – водоросли.

Большинство лишайников состоят из образованной гифами плотной коры, в которой имеются необходимые для дыхания поры. Кора позволяет всасывать влагу из воздуха и защищает лишайник от переохлаждения или перегрева. Под корой гифы более рыхлые, между ними располагаются клетки водоросли. Обычно клетки фотобионта сконцентрированы по периферии – ближе к свету – образуя фото-

синтезирующий слой. По анатомическому строению различают лишайники гомеомерные (в которых водоросли распределены более или менее равномерно по всему телу) и гетеромерные (водоросли находятся только под слоем коры). Некоторые лишайники симбиотируют также с бактериями, за счёт чего получают азот прямо из воздуха, или паразитируют на мхах и других лишайниках.

Исследование проводилось на деревьях только одного вида: Тополь. Так как в результате проведенного анализа научных данных выявлена зависимость произрастания эпифитных лишайников от видового состава деревьев, так, к примеру лишайники могут активно распространяться на тополях и хвойных, а менее на березах. Таким образом, чтобы исключить погрешность связанную с видовым составом деревьев был выбран тополь.

Различают три группы эпифитных лишайников:

- **накипные (коркоподобные)** Если слоевища плотно прилегают к субстрату в виде зернистого либо пылистого налета или в виде чешуек и корочек разной формы, то такие лишайники называются накипными. Похожи на плоские корки, плотно срастающиеся с корой, камнями, почвой, они трудно отделяются на ощупь, бархатистые и влажные.

- **листоватые (листовидные)** Если слоевища лишайников имеют вид более или менее расчлененных пластинок (лопастей), они называются листоватыми. имеют форму мелких пластинок, чешуек, прикрепляются к поверхности тонкими нитями гриба и довольно легко отделяются от нее.

- **кустистые.** Лишайники, которые имеют кустистое слоевище, состоящее из прямостоячих в разной степени разветвленных столбиков (подцеив), называются кустистыми. которые либо растут вверх как маленькие кустики, либо свисают с дерева вниз подобно бороде. Не имея корней, лишайники довольно крепко прикрепляются к субстрату особыми выростами, расположенными на нижней стороне таллома.

На территории города обнаружены следующие виды лишайников: Пармелия бороздчатая (*Parmelia sulcata*), Фисция звездчатая (*Phiscia stellaris*), Пармелиопсис сомнительный (*Parmeliopsis ambigua*), Ксантория настенная (*Xanthoria parietina*).

Изучение всех видов лишайников в крупнейших городах мира выявило ряд общих закономерностей: чем больше индустриализирован город, чем более загрязнен воздух, тем меньше встречается в его границах видов лишайников, тем меньшую площадь покрывают лишайники на стволах деревьев, тем ниже «жизненность» лишайников. Установлено, что при повышении степени загрязнения воздуха лишайники исчезают по следующей схеме в порядке убывания:

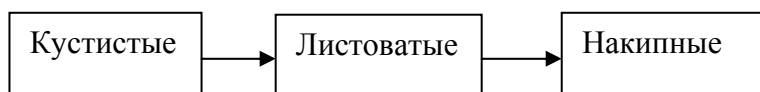


Рис. 1. Исчезновение лишайников при возрастании загрязнения воздуха

Методика

Для измерения собственно численности лишайников на деревьях используется, в основном, **две методики** – методика оценки проективного покрытия, и методика линейных пересечений.

Мы использовали метод измерений **проективного покрытия**. Одним из наиболее распространенных способов оценки относительной численности лишайников на стволах деревьев является определение показателей проективного покрытия, т.е. процентного соотношения площадей, покрытых лишайниками, и площадей, свободных от лишайников.

Подсчёт лишайников производят **следующим образом**.

Сначала считают число квадратов палетки, в которых лишайники занимают на глаз больше половины площади квадрата (а), условно приписывая им покрытие, равное 100%. Затем подсчитывают число квадратов, в которых лишайники занимают менее половины площади квадрата (b), условно приписывая им покрытие, равное 50%. Данные записывают в рабочую таблицу.



Рис. 2. Карта Юрги с отмеченными точками проведения измерений

Таблица 1

Результаты количественного исследования состояния чистоты воздуха в г. Юрга

Номер точки	Проективное покрытие, %	Индекс палеотолерантности
1	52	4
2	56	4
3	67	2
4	0	0
5	19	7
6	22	8
7	15	10
8	16	9
9	0	0
10	23	8

Общее **проективное покрытие** в процентах (R) вычисляют по формуле: $R = (100 a + 50 b) / C$, где C - общее число квадратов сеточки (например, при использовании сеточки 10 x 10 см. с ячейками 1 x 1 см., C = 100).

Результаты проводились на территории города Юрга в точках, показанных на рис. 2 и заносились в таблицу (Таблица 1). Определялся видовой состав лишайников и рассчитывались проективное покрытие и индекс палеотолерантности. Значения индекса палеотолерантности скоррелированы со среднегодовым содержанием SO_2 в воздухе.

Выводы

В результате биомониторинга с помощью лишеноиндикации на территории города Юрги обнаружены две зоны лишайниковых пустынь (концентрация диоксида серы более 0,3 мг/м³) и одна зона критического загрязнения (концентрация диоксида серы 0,1 - 0,3 мг/м³). Зона наибольшего загрязнения воздуха предположительно связаны с деятельностью заводов. Выделяются две зоны критического загрязнения в жилых районах. Предположительным загрязнителем являются выхлопы автомобилей. Выявлена необходимость дальнейших исследований загрязнения воздуха методом лишеноиндикации на территории города с применением иных методик и с привлечением дополнительных методов для составления лишеноиндикационной карты города Юрги.

Литература

1. Экологический мониторинг: Учебно-методическое пособие / Под ред. Т.Я. Ашихминой. – М.: Академический Проект, 2006. —416 с.
2. Биологический контроль окружающей среды, биоиндикация и биотестирование/ под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.

СЕКЦИЯ 2: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРИДА НАТРИЯ НА СКОРОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ ТИТАНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА***И.А. Алексенко, студент гр. 2Д04**научные руководители: Горлушко Д.А., к.х.н. доц., Усольцева Н.В., асс.**Национальный исследовательский Томский политехнический университет**634009, г. Томск, пер. Карповский 12 - 78, тел. +7-913-815-37-95**E-mail: inna.aleksenko92@mail.ru*

В настоящее время большое значение в современной науке и технике уделяется высокодисперсным порошкам на основе оксидов металлов. Применение их настолько широко, что охватывает практически все отрасли производства, в том числе производство катализаторов, носителей катализаторов, сорбентов, изготовление стекла и керамики, лаков и красок, огнеупоров, наполнителей полимеров и т.д. [1].

Одним из таких материалов, является оксид титана. Данный оксид получают из титана – одного из наиболее распространенных в природе элементов. Несмотря на то, что этот металл открыли еще в 1791 г., его использование как самостоятельного конструкционного материала и основы сплавов начались лишь во второй половине XX века после успехов, достигнутых в области металлургии химически активных металлов и сплавов [2].

Существует огромное количество методов получения порошков оксидов металлов, базирующихся на газофазном, плазмохимическом, термическом и других процессах. Развиваются детонационный синтез и электровзрыв. Наиболее хорошо изученными являются методы, основанные на осаждении из растворов солей и последующего гидролиза, позволяющие получать гидратированные оксиды металлов в виде гелей, обладающие высокой дисперсностью и развитой пористой структурой [3].

Оксид титана возможно получать различными методами. Между собой они отличаются различными значениями чистоты полученного вещества, производительности, энергозатратности и т.п. Существует два применяемых в промышленности метода: сернокислый и хлорный. Подавляющее большинство методов получения (плазмохимический, золь-гель метод, электровзрыв) на данном этапе разработки являются лабораторными и требуют некоторой адаптации для применения в крупномасштабном производстве.

В последнее время получили развитие новые перспективные направления синтеза нанопорошков оксидов металлов, одним из которых является электрохимический синтез на переменном токе. Основное преимущество данного способа – возможность получения очень чистых гидроксидов и оксидов, а регулирование электрических параметров процесса электролиза позволяет формировать порошки с заданной дисперсностью, что еще более повышает его практическую ценность [3].

Основными параметрами, влияющими на электрохимическое окисление металлов с использованием тока промышленной частоты, являются плотность тока, концентрация и природа электролита, температура [1]. В представленной работе рассмотрено влияние плотности тока и концентрации электролита на скорость электрохимического разрушения титана под действием тока промышленной частоты.

Описание эксперимента

Проводилась серия экспериментов, в ходе которых были определены зависимости скорости электрохимического разрушения от концентрации электролита и плотности тока. Эксперименты проводились при постоянной температуре (95°C). В качестве электролита выступал хлорид натрия (NaCl). Концентрация электролита варьировалась от 3 до 10% масс., плотность тока – от 0,5 до 2,5 А/см². Скорость разрушения титана определялась по убыли массы электродов весовым методом [4]. Раствор электролита готовится следующим образом: навеску хлорида натрия, взвешенную на аналитических весах, пересыпают в литровую мерную колбу. Долива-

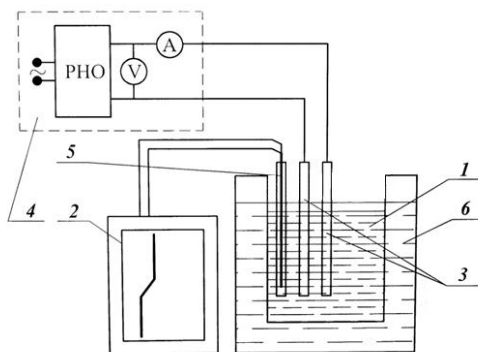


Рис. 1. Схема экспериментальной установки
1 – электрохимическая ячейка; 2 – прибор КС-2;
3 – электроды; 4 – измерительно-управляющая цепь;
5 – термомпара; 6 – термостат

ют до метки дистиллированную воду, при этом постоянно перемешивая раствор хлорида натрия. Плотности растворов соли берутся из справочника [5] для контроля массовой концентрации электролита. Алгоритм проведения эксперимента по методике [6].

На рис. 1 приведена принципиальная схема установки по электрохимическому окислению титана под действием переменного тока с целью получения его оксидов.

В ячейку 1 заливают определенный объем раствора хлорида натрия, являющимся электролитом. Два титановых электрода 3 тщательно зачищают наждачной бумагой, промывают дистиллированной водой, этиловым спиртом и сушат фильтровальной бумагой. Для удобства определения уровня погружения электродов в электролит необходимо сделать на них отметки. Каждый из электродов взвешивают и помещают в ячейку параллельно друг другу на расстоянии 1см. Электролит предварительно нагревают до 95 °С.

Ячейку подключают к измерительно-управляющей цепи, состоящей из регулятора напряжения и показывающих приборов (амперметра и вольтметра). Температура в ячейке измеряется с помощью термомпары и регистрируется по показаниям вторичного прибора.

Включают установку в сеть, с помощью реостата регулятора напряжения, устанавливают заданное значение силы тока и поддерживают его неизменным в течение всего эксперимента. Одновременно начинают отсчет времени. Все показания приборов (ток, напряжение, температура) регистрируют через каждую минуту в течение десятиминутного интервала, а затем через каждые пять минут.

В процессе электролиза визуально наблюдается выделение пузырьков водорода с поверхности электродов и образование нерастворимых оксидов титана, что проявляется в помутнении раствора и выпадении осадка в виде голубовато-серых хлопьев.

В конце эксперимента плавно выводят регулятором напряжения стрелки показывающих приборов на ноль, отключают установку от сети. Электроды промывают дистиллированной водой, снимая остатки оксида щеткой или фторопластовой палочкой, сушат фильтровальной бумагой и взвешивают.

Скорость процесса окисления титана рассчитывали для каждого электрода отдельно по следующей формуле:

$$q = \frac{\Delta M}{S \times t},$$

где q – скорость разрушения электродов, $г/см^2 \cdot ч$; ΔM – суммарная потеря массы электродов, $г$; S – рабочая поверхность электродов, $см^2$; t – время электролиза, $ч$.

Результаты и их обсуждение

Исследования кинетики разрушения титана проводились в интервале плотностей тока от 0,5 до 2,5 $А/см^2$. Это обусловлено тем, что уже при плотности тока 0,5 $А/см^2$ электрохимическое окисление многих металлов под действием переменного тока, как показали предыдущие исследования [1], протекает с низкой скоростью, вследствие чего проведение процесса при плотности тока менее 0,5 $А/см^2$ является нецелесообразным. При плотности тока равной 2,5 $А/см^2$ наблюдается быстрый разогрев электролита, это требует в ряде случаев интенсивного охлаждения системы во избежание повышения ее температуры до температуры кипения раствора.

С целью определения зависимости скорости разрушения титана под действием переменного тока от концентрации раствора электролита проводились эксперименты, в которых использовались растворы, содержащие от 3 до 10% мас. хлорида натрия.

Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние плотности тока и концентрации электролита
на скорость разрушения титана, $г/см^2 \cdot ч$

Плотность тока, $А/см^2$	Концентрация хлорида натрия		
	3 % мас	5 % мас	10 % мас
0,5	0,001	0,001	0,001
1	0,003	0,002	0,001
1,5	0,004	0,003	0,002
2	0,007	0,006	0,005
2,5	0,014	0,015	0,017

По результатам исследования был построен график зависимости скорости разрушения титана от плотности тока при различных концентрациях электролита (рис. 2).

Установлено, что при прочих равных условиях увеличение плотности тока приводит к увеличению скорости разрушения титана. Полученные однозначные зависимости скорости от плотности тока были ожидаемы, причем не только по тому, что аналогичные зависимости были получены при электрохимическом окислении других металлов под действием переменного тока [1]. Как известно, плотность тока представляет собой количество электричества, проходящего через единицу поверхности электрода, прямо пропорциональное в соответствии с первым законом Фарадея массе прореагировавшего вещества, в данном случае – массе окисленного титана. Таким образом, увеличение плотности тока приводит к увеличению количества электричества, проходящего через рабочую поверхность электродов, что в свою очередь должно сопровождаться увеличением потери массы.

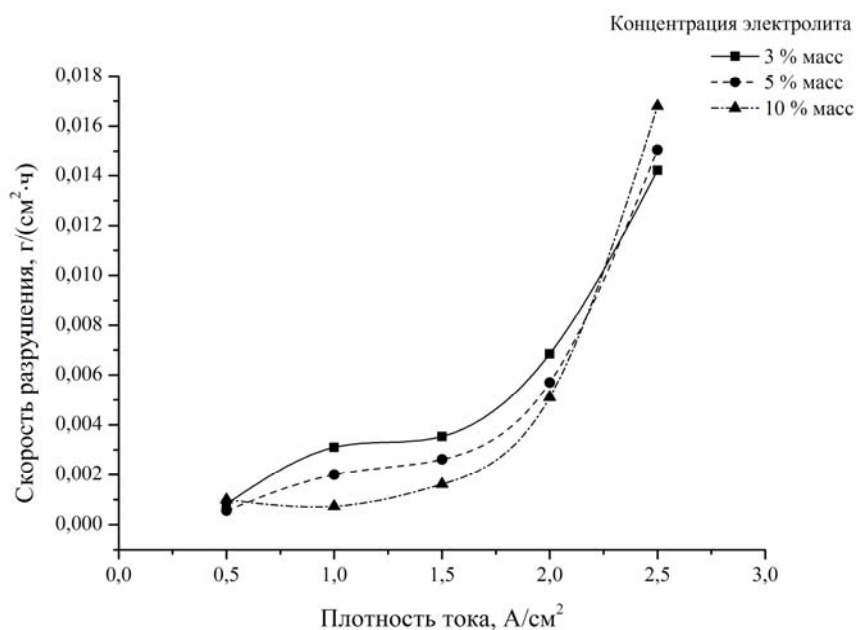


Рис. 2. Зависимость скорости разрушения титана от плотности тока

Выводы

1. Показан метод электрохимического окисления на переменном токе для получения оксида титана.
2. Исследована зависимость скорости разрушения титана от плотности тока при различных концентрациях хлорида натрия.
3. Установлено, что с ростом плотности тока наблюдается увеличение скорости разрушения титановых электродов.

Литература.

1. Коробочкин В.В. Процессы получения нанодисперсных оксидов с использованием электрохимического окисления металлов при действии переменного тока, 2004 –С. 273
2. Рябцев А.Д. и др. Получение титана повышенной прочности путем легирования кислородом в процессе камерного электрошлакового переплава. – 2007. – С. 3–6.
3. Коробочкин В.В. Процессы получения нанодисперсных оксидов с использованием электрохимического окисления металлов при действии переменного тока// Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Томск. – 2004. – 44 с.
4. Ускоренные методы коррозионных испытаний. / Розенфельд И.Л., Жиганова К.А. – М.: Металлургия, 1966. – 347 с
5. Справочник химика. III том / под ред. Никольский Б.П. М.-Л.: «Химия», 1964.–1008 с.
6. Коробочкин В.В., Ханова Е.А. Определение количества окисленного титана, кадмия и меди при электролизе на переменном токе // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2005. – Т.71. – №6. – С. 20–23.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ, ИМПЕРАТИВНЫЕ И ИНЫЕ МЕРЫ В РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРАВ И ОБЯЗАННОСТЕЙ ГРАЖДАН В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

О.В. Дорошенко, студент

Западно-Сибирский филиал «Российская академия правосудия», г. Томск

E-mail: HWBEK@sibmail.com

В Конституции РФ нашли закрепление права и обязанности граждан во взаимоотношениях с природой и окружающей средой. Статья 42 закрепила, право каждого на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением. Статья 58 корреспондировала обязанность каждого сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам.

Федеральный закон РФ «Об охране окружающей среды» определил правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, обеспечивающие сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности [1].

Несмотря на все вышеперечисленное, ни в одном нормативном правовом акте Российской Федерации нет понятия экологически значимой информации, отсутствуют процедура и принципы ее предоставления. При осуществлении государством экологической и природоохранной политики ярко прослеживается приоритет экономических интересов над экологическими, как правило, происходит непредоставление общественности экологически значимой информации либо ее искажение, что отрицательно сказывается на реализации общественного и государственного контроля за охранной окружающей среды.

Н.В. Кичигин утверждает, что важным условием государственного природоохранного администрирования является экономическая основа, способствующая эффективной реализации экологического и природоохранного механизма[2].

С.А. Боголюбов считает, что в нашей стране в области охраны природы применялись, как правило, публичные средства. Частные, напротив, игнорировались и применялись достаточно редко. По его мнению, было бы правильным избавиться от инерции обыденного сознания, в котором публичные методы считаются классовыми, консервативными, отсталыми, а частные – демократическими и передовыми[3].

По нашему мнению, необходимо добиться де-факто баланса между экономическими и экологическими, частными и публичными методами в реализации экологических прав граждан.

В Российской Федерации отсутствует экономическая основа для осуществления экологических прав граждан. Это проявляется в отсутствии стимулов для развития экологического предпринимательства, недостатке внедрения новых технологий, а также в виде недостаточного объема выделения финансов на решение природоохранных и экологических задач.

Согласно Федеральному закону «О федеральном бюджете на 2010 год и на плановый период 2011 и 2012 годов» [4] в России на охрану окружающей среды из государственного бюджета отчисляется 12 420 698,8 млрд. руб. Принятый 03.12.2012 году Федеральный закон № 216-ФЗ (ред. от 07.06.2013) «О федеральном бюджете на 2013 год и на плановый период 2014 и 2015 годов» увеличил сумму отчислений на охрану окружающей среды по сравнению с 2010 годом в два раза. Сумма составила 24 860 285, 5 руб. Сравнив эти показатели с показателями европейских стран, можно сделать вывод, что наша страна пока экономит на, возможно, самой важной статье в бюджете [5].

В законодательстве РФ практически отсутствуют природоохранные и экологические стимулы. В нашей стране не выплачиваются экологические субсидии прямого характера, т.е. государственные платежи в пользу частных лиц для решения определенных задач и достижения конкретной публичной цели на безвозмездной основе (не требующие возврата), а также отсутствуют экологические субсидии косвенного характера, выражающиеся в том, что при загрязнении окружающей среды субъект хозяйственной деятельности выплачивает все положенные платежи, в обратном случае – освобождается от уплаты.

Природоохранное стимулирование, по мнению одних авторов, повышает интерес у их адресатов, что является положительным аспектом. По мнению других авторов, недостаток субсидирования заключается в безвозмездном использовании федеральных средств, искажении принципов конкуренции. По нашему мнению, субсидирование в природоохранной деятельности должно иметь место, но при этом должен быть четко определен круг ее адресатов, а также осуществляться жесткий контроль за расходованием данных средств со стороны государственных органов.

Также российское законодательство в области охраны окружающей среды имеет низкий уровень открытости и прозрачности процедуры накопления и расходования денежных средств, которые выделяются на охрану окружающей среды.

На наш взгляд, для создания экономической основы реализации экологических прав граждан необходима поддержка экологического предпринимательства, внедрение новых технологий, дотирование и субсидирование физических и юридических лиц для решения экологических задач, повышение уровня открытости и прозрачности процедуры формирования и расходования финансовых средств в экологических целях.

Одним из основных правовых способов осуществления экологических прав является правовая ответственность за нанесение экологического ущерба. По мнению И.О. Красновой, перед совершенствованием данного механизма стоит сложная задача: способствовать не только балансированию экономической и технической работы по ликвидации неблагоприятных природных последствий хозяйственной эксплуатации окружающей среды, а также стимулированию экологического корректного поведения, не препятствуя экономическому росту^[6].

По мнению профессора В.В. Круглова отсутствие четкого инструмента компенсации экологического ущерба, причиненного гражданам предприятиями, неимение нормативного требования, касающегося планирования природоохранной и экологической деятельности фирмами приводит к плохой реализации экологических прав граждан [7].

По нашему мнению, невысокий уровень осуществления экологических прав граждан РФ заключается в недостаточно хорошо развитом уровне правового механизма осуществления экологических прав граждан России, низком уровне экологического правового сознания, плохой гарантированности этих прав со стороны государства, неосуществлении субъектами правоотношений их экологических обязанностей, неисполнении принципа неотвратимости наказания за нарушение экологического права и др.

В конце 90-х годов в Российской Федерации была принята серия нормативно-правовых актов, регулирующих обращение с отходами. Именно в эти годы начался прорыв в области переработки отходов. Несмотря на это, в стране многие проблемы остаются нерешенными: 1) реализация безопасного захоронения отходов; 2) рост экономических и технических ресурсов; 3) обеспечение целостного управления отходами; 4) повышение уровня правового регулирования и улучшение правоприменительной деятельности в сфере обращения с отходами; 5) разграничение компетенций между Федерацией и ее субъектами (на данный момент преобладает чрезмерная централизация).

Каждый год в стране образуется примерно 7 млрд. т отходов, и лишь 2 млрд. из них перерабатывается, что составляет 28,6 %.

24 июня 1998 г. вступил в действие Федеральный закон «Об отходах производства и потребления». Данный закон определил правовые основы обращения с отходами производства и потребления в целях предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую среду, а также вовлечения таких отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

Несмотря на это, определение отходов, их типы, содержания этапов обращения с отходами, требования к экологической безопасности и др. вопросы определяются в других актах по-разному. Кроме того, незначительное внимание разработке единой правовой концепции обращения с отходами уделяет наука экологического права, что, опять же, отрицательно сказывается на содержании нормативно-правовых актов, регулирующих сферу обращения с отходами.

Литература.

1. Об охране окружающей среды: федер. закон Рос. Федерации от 10.01.2002 № 7-ФЗ // СЗ РФ, 14.01.2002, № 2, ст. 133.
2. Кичигин И.В. Законодательное обеспечение экономического механизма охраны окружающей среды // Журнал российского права. 2008. № 10. С. 45–51.
3. Боголюбов С.А. Соотношение публично-правовых и частноправовых средств в обеспечении экономических прав граждан // Журнал российского права. 2005. № 7. С. 24.
4. О федеральном бюджете на 2010 год и на плановый период 2011 и 2012 гг.: федер. закон Рос. Федерации от 02.12.2009 № 308-ФЗ // СЗ РФ, 21.12.2009, № 51, ст. 6151.
5. О федеральном бюджете на 2013 год и на плановый период 2014 и 2015 гг.: федер. закон Рос. Федерации от 03.12.2012 (в ред. от 07.06.2013) № 216-ФЗ // СЗ РФ, 10.12.2012, № 50 (ч. 1), ст. 6939 (Закон, прил. 1 – 5, 7).
6. Краснова И.О. Правовое регулирование возмещения экологического вреда // Экологическое право. 2006. № 4. С. 26–33.
7. Круглов В.В. Экологические права граждан РФ и их организационно-правовое обеспечение // Права человека: Регулирование, реализация, защита. Материалы конференции (14 декабря 2007 г.). Екатеринбург: Филантроп. 2008. С. 15.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСОВ КРЕМНИЯ И ОЛОВА

*О.Х. Полещук, д.х.н., проф., Н.О. Скурневский, аспирант, Е.В. Полицинский, к.п.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56
E-mail: olegpoleshchuk@mail.ru*

Способность нейтральных («валентно-насыщенных») молекул образовывать координационные соединения определенной стехиометрии, получившие название «молекулярные комплексы», была установлена еще в первой половине нашего века. В последующие годы интерес такого рода межмолекулярной ассоциации, играющей важную роль во многих физических, химических и биологических процессах и явлениях, постоянно возрастал и не иссякает до сих пор. Большую положительную роль в развитии представлений о природе сил, обуславливающих стабилизацию и формирование электронной и пространственной структуры молекулярных комплексов, сыграла получившая широкое распространение концепция комплексов с переносом заряда (КПЗ) или электронодонорно-акцепторного (ЭДА) взаимодействия молекул, предложенная Малликеном [1]. Межмолекулярное донорно-акцепторное взаимодействие обычно ассоциируется с взаимодействием молекулярных орбиталей. При этом образование донорно-акцепторной связи между двумя молекулами объясняется переносом электрона с высшей заполненной орбитали донора на низшую незанятую молекулярную орбиталь акцептора [2]. Если такой переход электрона сопровождается понижением энергии системы, то происходит образование донорно-акцепторной связи. Свойства и структура комплексов в значительной мере зависят от того, какие из орбиталей участвуют в переносе электрона. В основе существующей классификации донорно-акцепторных комплексов лежит тип орбиталей, принимающих участие в образовании межмолекулярных связей. При рассмотрении молекулярных комплексов большое значение имеют величины эффективных зарядов атомов доноров и акцепторов, энергии и локализации граничных орбиталей. Об этом говорит применение теории возмущений к широко известному принципу жестких и мягких кислот и оснований [3]. Донорные свойства молекул связаны с неподеленной электронной парой атома, участвующего в координации с акцептором. Галогениды металлов взаимодействуют с донором за счет свободной разрыхляющей орбитали.

Целью работы явился анализ изменения параметров химической связи некоторых комплексов хлорида кремния и олова. Для этого необходимо провести расчеты некоторых комплексных соединений тетрахлорида кремния и олова неэмпирическим квантово-химическим методом функционала плотности, сравнить гибридные донорно-акцепторные связи комплексов тетрахлоридов кремния и олова, определить заселенность d-орбиталей центральных атомов, оценить зависимость между энергией образования комплексов и зарядовыми и энергетическими параметрами доноров.

Полная оптимизация геометрии была осуществлена методом функционала плотности с обменным функционалом Бекке (B3) [4] и корреляционным функционалом Ли, Янга и Парра (LYP) [5], обозначаемый B3LYP по программе GAUSSIAN'98W [6]. Нами использован как стандартный пол-

ноэлектронный базисный набор 6-31G(d) для всех атомов. Полученные структуры являются минимумами на поверхности потенциальной энергии (ППЭ). Это следует из проведенных нами расчетов частот колебаний во всех комплексах, показывающих отсутствие мнимых значений. Оптимизированные структуры были также использованы нами для расчета комплексов методом функционала плотности в программе Амстердамский функционал плотности (АФП) [7]. Эта программа в отличие от программы Гауссиан использует не Гауссовы, а Слетеровские волновые функции, которые в принципе лучше описывают распределение электронной плотности вблизи ядра. Для оценки гибридизации атомов использован метод натуральных орбиталей связи [8].

При анализе электронного строения большой интерес представляет прочность комплексов. Комплексообразование сопровождается изменением энергии связи в молекулах доноров и акцепторов. По величине энергии донорно-акцепторной связи можно судить об устойчивости комплексов различных акцепторов относительно друг друга.

В таблице 1 приведены рассчитанные значения энергий акцепторной молекулы ($E^{\text{акц}}$), доноров ($E^{\text{дон}}$) и комплексов ($E^{\text{комп}}$) MCl_4L_2 , а также вычисленные величины энергий донорно-акцепторных связей:

$$E_{\text{ДА}} = E^{\text{комп}} - (E^{\text{акц}} + \sum E^{\text{дон}})$$

Кроме того, в таблице также приведены значения энергии ДА-связи, рассчитанной аналогичным методом в программе ADF.

Из таблицы 2 видно, что если в самом акцепторе гибридизация атома кремния практически sp^3 с тетраэдрическим строением, то в их комплексах происходит значительное изменение гибридизации, практически до sp^3d^2 для донорно-акцепторных связей. Это достаточно необычно, так как для комплексов тетрахлорида олова такие связи практически не включают вакантные d-орбитали атома олова. В результате мы видим, что и прочность комплексов кремния и олова различается. Кроме того, и полярность связей металл-лиганд существенно увеличивается при комплексообразовании. Полученные значения энергий ДА-связей, рассчитанные обоими методами, хорошо коррелируют между собой (рис. 1), что свидетельствует о правильной оценке энергии комплексообразования для обоих акцепторов. Экспериментальные данные по энтальпиям образования этих комплексов известны для комплексов тетрахлорида олова с ацетонитрилом (12 ккал/моль) и диметисульфидом (13 ккал/моль) [2]. Видно, что данные значения практически совпадают с рассчитанными нами обоими методами.

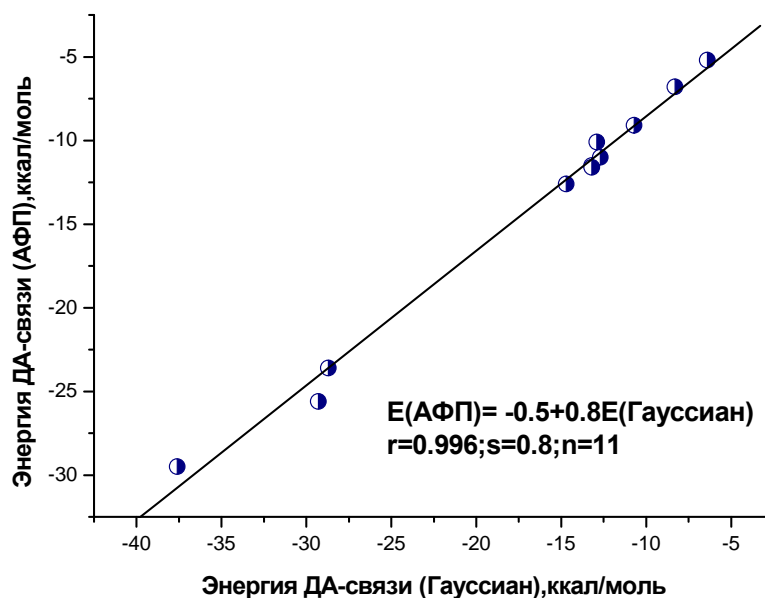


Рис. 1. Зависимость между энергией донорно-акцепторной связи, рассчитанной в программе Гауссиан и программе АФП

Помимо значений энергии донорно-акцепторной связи прочность комплексов может характеризоваться значениями перенесенной электронной плотности. Для выяснения вопроса о том, что же происходит с электронной плотностью на атомах акцепторов при комплексообразовании, мы провели сравнение комплексов кремния и комплексов олова.

Из таблицы 3 видно, что в изученных комплексах на атомах кремния и олова происходит увеличение или неизменность положительного заряда при комплексообразовании. Комплексообразовательные центры Si и донор являются лишь инициаторами переноса заряда и его проводниками. Перенесенная электронная плотность с донора локализуется не на атоме кремния, а переносится на атомы хлора. В результате увеличивающейся поляризации молекулы на атомах хлора локализуется не только электронная плотность, перенесенная с донора, но и часть электронной плотности атома кремния. Такое же изменение эффективного заряда наблюдается и на атоме олова в комплексах олова.

Можно рассмотреть полученные энергетические характеристики комплексов с точки зрения теории жестких и мягких кислот и оснований, в рамках которой энергия взаимодействия ($E_{ДА}$) донора и акцептора зависит от зарядов непосредственно взаимодействующих атомов и энергетической разницы фронтальных орбиталей донора и акцептора [9].

$$E_{ДА} = -24 - 10q_L + 124\epsilon_i \quad (r=0.982; s=1.7; n=5)$$

В этом уравнении q_L – заряды на координирующем атоме донора в свободном состоянии, $E_{ДА}$ – энергия комплексообразования, ϵ_i – энергия высшей занятой молекулярной орбитали донора (фронтальная орбиталь). Можно видеть, что в случае комплексов тетрахлорида кремния их прочность определяется в основном ковалентными взаимодействиями между донором и акцептором. На это указывает значительно меньший коэффициент при заряде на координирующем атоме донора по сравнению с коэффициентом при энергии орбиталей.

Из таблиц 1 и 3 видно, что отсутствует корреляция между переносом заряда и энергией комплексообразования. Такое положение не удивительно, еще Френкинг [10] и Тимошкин [11] с соавторами показали, что линейная корреляция между переносом заряда и энергией связи, основанная на приближении Малликена, не действительна для комплексов галогенидов металлов III и V групп элементов. Используя анализ разделения энергии, включенный в программу ADF, нами была проанализирована межмолекулярная связь в рассчитанных комплексах. Энергетические составляющие могут быть идентифицированы с тремя главными компонентами химической связи, то есть с отталкиванием Паули, электростатическим притяжением и ковалентным взаимодействием. Френкинг и соавторы [12] предложили, чтобы член $\Delta E_{\text{электр.}}$ использовался для оценки силы электростатического связывания, а $\Delta E_{\text{ков.}}$ – для ковалентного связывания. Из анализа результатов расчета видно, что взаимодействие между донором и акцептором в данном случае определяется в основном орбитальными взаимодействиями, т. е. ковалентными, как и при использовании метода Клопмана [9], в которые входят как перенос заряда, так и поляризация связей. Анализ разложения энергии показывает, что эффекты поляризации дают существенные вклады в перераспределение электронной плотности, так же как и в полную энергию связи. Таким образом, теоретически нет никакой причины ожидать, что в комплексах должны существовать линейные отношения между энергией связи и количеством переносимого заряда, что и не наблюдается в проведенных расчетах.

Таблица 1

Рассчитанные энергетические характеристики комплексов кремния и олова

Соединение	$E_{\text{общ.}}$, [a.e.]	$E_{\text{донора}}$, [a.e.]	$E_{ДА}$, [ккал/моль], Гауссиан	$E_{ДА}$, [ккал/моль], АФП
SiCl ₄ ((CH ₃) ₃ PO) ₂	-3203.20	-536.353	-13.2	-11.5
SiCl ₄ ((CH ₃) ₂ SO) ₂	-3236.864	-553.187	-10.7	-9.1
SiCl ₄ (CH ₃ CN) ₂	-2395.952	-132.755	-6.4	-5.2
SiCl ₄ ((CH ₃) ₂ S) ₂	-3086.467	-478.014	-8.3	-6.8
SiCl ₄ (Py) ₂	-2627.042	-248.285	-12.7	-11.0
SiCl ₄ (NH ₃) ₂	-2243.590	-56.548	-13.2	-11.6
SnCl ₄ ((CH ₃) ₃ PO) ₂	-2917.142	-536.469	-37.6	-29.5
SnCl ₄ ((CH ₃) ₂ SO) ₂	-2951.073	-553.279	-29.3	-25.6
SnCl ₄ (CH ₃ CN) ₂	-2110.071	-132.796	-12.9	-10.1
SnCl ₄ ((CH ₃) ₂ S) ₂	-2800.628	-478.070	-14.7	-12.6
SnCl ₄ (Py) ₂	-2340.965	-248.603	-28.7	-23.6

Таблица 2

Рассчитанные характеристики химических связей в комплексах кремния

Комплекс	x, %	Гибридизация связей		
		S, %	P, %	D, %
SiCl ₄ ((CH ₃) ₃ PO) ₂	92.3	16.4	53.3	30.3
SiCl ₄ ((CH ₃) ₂ SO) ₂	92.2	15.6	53.4	31.1
SiCl ₄ (Py) ₂	91.8	13.2	52.8	34.0
SiCl ₄ ((CH ₃) ₂ S) ₂	84.0	14.7	50.1	35.2
SiCl ₄ (NH ₃) ₂	91.6	13.6	50.2	36.2
SiCl ₄	74.0	25.0	72.5	2.5
SnCl ₄	76.7	25	73.6	1.4
SnCl ₄ ((CH ₃) ₃ PO) ₂	93.24	18.75	81.25	0.13
SnCl ₄ ((CH ₃) ₂ SO) ₂	92.77	22.79	77.21	0.12
SnCl ₄ (CH ₃ CN) ₂	93.36	12.86	87.14	0.07
SnCl ₄ ((CH ₃) ₂ S) ₂	87.76	15.19	84.67	0.13
SnCl ₄ (Py) ₂	92.46	28.27	71.73	0.01

Таблица 3

Перераспределение электронной плотности при комплексообразовании

Комплекс	Δq (D→A)	Δq_M	Δq_{Cl}
SiCl ₄ [NCCH ₃] ₂	0.28	-0.01	0.29
SiCl ₄ [S(CH ₃) ₂] ₂	0.72	0.30	0.42
SiCl ₄ [OS(CH ₃) ₂] ₂	0.34	-0.18	0.52
SiCl ₄ [NH ₃] ₂	0.38	-0.07	0.45
SiCl ₄ Py ₂	0.36	-0.04	0.40
SiCl ₄ [OP(CH ₃) ₃] ₂	0.29	-0.12	0.41
SnCl ₄ ((CH ₃) ₃ PO) ₂	0.28	-0.12	0.40
SnCl ₄ ((CH ₃) ₂ SO) ₂	0.33	-0.09	0.42
SnCl ₄ (CH ₃ CN) ₂	0.23	0.01	0.22
SnCl ₄ ((CH ₃) ₂ S) ₂	0.68	0.32	0.36
SnCl ₄ (Py) ₂	0.32	0.02	0.30

Зарядовое донирование $\Delta q(D \rightarrow A)$; изменение эффективных зарядов центральных атомов (Δq_M) и атомов хлора (Δq_{Cl}) акцепторов. Отрицательный знак Δq соответствует уменьшению электронной плотности на атомах при комплексообразовании.

Литература.

- Mulliken R. S., Pearson W. B. Molecular complexes. N.Y.: Willey. 1969. 498 p.
- Гурьянова Е. Н., Гольдштейн И. П., Ромм И. П. Донорно-акцепторная связь. М.: Химия. 1973. 400 с.
- Gutmann V. Coord. Chem. Rev. 1975, 15, 207.
- Becke A. D. J. Chem. Phys. 1993, 98, 5648.
- Lee C.; Yang W.; Parr R. G. Phys. Rev. 1988, 37, 785.
- Frisch, M. J.; Trucks, G. W.; Schlegel, H. B.; Gill, P. M. W.; Johnson, B. G.; Robb, M. A.; Cheeseman, J. R.; Keith, T.; Petersson, G. A.; Montgomery, J. A.; Raghavachari, K.; Al-Laham, M. A.; Zakrzewski, V.; Ortiz, J. V.; Foresman, J. B.; Cioslowski, J.; Stefanov, B. B.; Nanayakkara, A.; Challacombe, M.; Peng, C. Y.; Ayala P. Y.; Chen, W.; Wong M. W.; Andress, J. L.; Replogle, E. S.; Gomperts, R.; Martin, R. L.; Fox, D. J.; Binkley, J. S.; Defress, D. J.; Baker, J.; Stewart, J. P.; Head-Gordon, Gonzales, C.; Pople, J. A. Gaussian 98, Revision A; Gaussian, Inc: Pittsburg, PA, 1998.
- ADF 2002.03, SCM, Theoretical Chemistry, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands. <http://www.scm.com>
- Glendening E. D.; Reed A. E.; Carpenter J. E.; Weinhold F. NBO Version 3.1.
- Реакционная способность и пути реакций/ Ред. Клопман Г.-М.: Мир. 1977. 383 с.
- Frenking G., Fröhlich N. Chem. Rev. 2000, 100, 717.
- Timoshkin A.V., Suvorov A.V., Bettinger H.F., Schaefer H.F. J. Am. Chem. Soc. 1999. 121. 5687.
- Frenking G., Wichmann K., Fronlich N., Loschen C., Lein M., Frunzke J., Rayon V.M. Coord. Chem. Rev. 2003. 238-239. 55.

ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК КОБАЛЬТА ПРИ T=473 К

*С.В. Журавлева, учебный мастер, А.А. Сухорукова, инженер
Кемеровский государственный университет
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6
E-mail: epsur@kemsu.ru*

Методами оптической спектроскопии исследованы закономерности изменения оптических свойств (поглощение, отражение) наноразмерных пленок кобальта при температуре 473 К в атмосферных условиях. Были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения $\alpha = f(\tau)$, необходимые для выяснения закономерностей протекания процесса взаимодействия пленок кобальта с кислородом окружающей среды.

Использование именно нанопленок в промышленности, электроники 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. [1].

Целью работы является установление закономерностей изменения оптических свойств (поглощение, отражение) наноразмерных пленок Co в зависимости от времени термообработки.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ($2 \cdot 10^{-3}$ Па) путем нанесения тонких пленок кобальта на подложки из стекла (ГОСТ 9284 – 59), используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». 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 [2-3]. Наноразмерные пленки кобальта подвергали термической обработке в муфельной печи «Тулячка-3П». При этом образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры фарфоровую пластину и подвергали термической обработке, в атмосферных условиях. Регистрацию эффектов до и после термической обработки исследуемых образцов осуществляли спектрофотометрическим в диапазоне длин волн 190...1100 нм (используя спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») [4].

В результате исследования оптических свойств наноразмерных пленок кобальта до, в процессе и после теплового воздействия при температуре 473 К в атмосферных условиях, прежде всего, было установлено, что спектры поглощения и отражения зависят от первоначальной толщины пленок кобальта (рис.1) и времени воздействия.

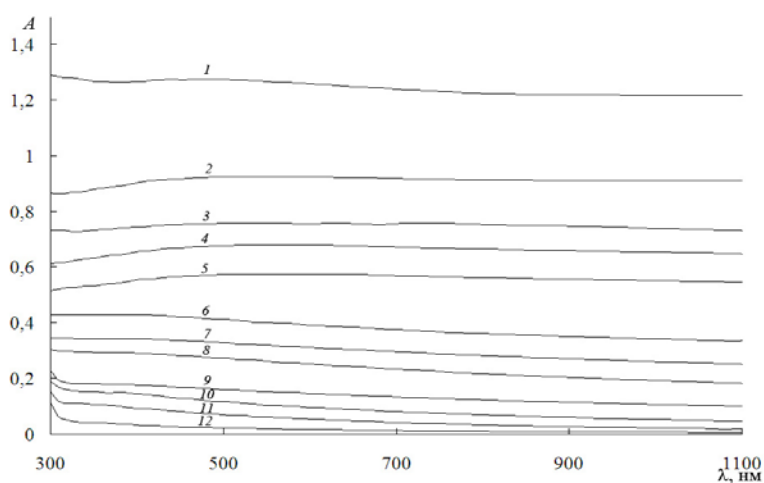


Рис. 1. Спектры поглощения пленок кобальта толщиной: 1-33, 2-17, 3-14, 4-11, 5-8, 6-4, 7-1 нм

На рис.1 представлены спектры поглощения пленок кобальта толщиной $d=1 \dots 33$ нм до термообработки. Видно, что в исследуемом диапазоне длин волн на спектрах поглощения образцов тол-

щиной $d > 15$ нм можно выделить максимум при $\lambda = 320$ нм, характерный для кобальта. По мере уменьшения толщины пленок кобальта на спектрах поглощения и отражения постепенно перестают проявляться характерные для кобальта полосы поглощения и отражения. Для пленок кобальта толщиной $d < 5$ нм наблюдается бесструктурное поглощение и отражение в диапазоне $\lambda = 190 \dots 1100$ нм.

В результате термической обработки пленок кобальта разной толщины при температуре $T = 473$ К в атмосферных условиях спектры поглощения, отражения претерпевают существенные изменения. В качестве примера на рис. 2 приведены спектры поглощения пленки кобальта $d = 7$ нм до и после термообработки при $T = 473$ К. Следует отметить, что при увеличении времени теплового воздействия закономерные изменения спектров поглощения независимо от исходной толщины пленок кобальта сохраняются - наблюдается уменьшение поглощательной способности образцов во всем исследуемом интервале длин волн (300-1100 нм).

По спектрам поглощения пленок кобальта было установлено, что термообработка вызывает смещение края полосы поглощения в коротковолновую область. Это связано с формированием спектра поглощения нового вещества.

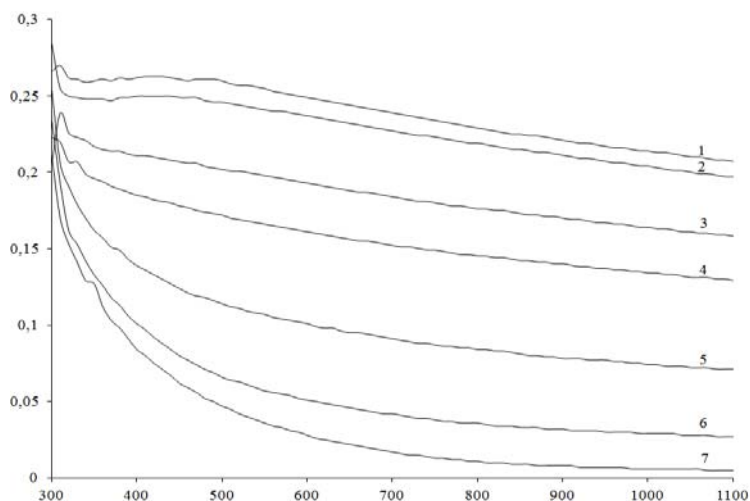


Рис. 2. Спектры поглощения пленок кобальта ($d = 7$ нм) до (1) и после термообработки при $T = 473$ К: 2-1 мин; 3-5 мин; 4-10 мин; 5-30 мин; 6-60 мин; 7-120 мин

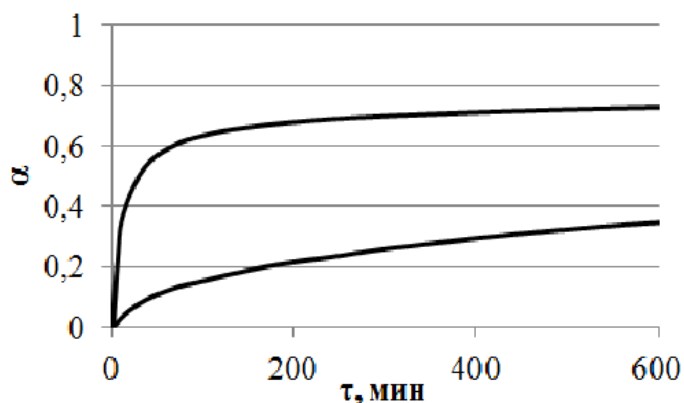


Рис. 3. Зависимость степени превращения α от толщины пленок кобальта при $T = 473$ К: 1 – 4; 2 – 19 нм

Исходя из полученных результатов (измерений спектров поглощения и отражения пленок кобальта разной толщины до и после теплового воздействия при температуре 473 К) были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения $\alpha = f(\tau)$, необходимые для выяснения закономерностей протекания процесса взаимодействия пленок кобальта с кислородом окружающей среды. Для пленок кобальта толщиной ($d_n < 10$ нм) при $T = 473$ К степень превращения достигает еди-

ницы за $\tau=10\dots 120$ мин. Степень термостимулированного превращения пленок кобальта с уменьшением толщины пленок при одинаковой температуре ($T=473$ К) возрастает [5].

Литература.

1. Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия. – М.: Изд-во Мир. 1972. Т. 2. - 872 с.
2. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. Термостимулированные превращения в наноразмерных системах $Bi - MoO_3$ // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 5. С. 842–848.
3. 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.
4. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. Термические превращения в наноразмерных слоях меди // Журн. Физ. Химии. 2010. Т. 84. № 2. С. 307-313.
5. Суrowой Э.П., Сухорукова А.А., С.М. Сирик. Термостимулированные превращения в наноразмерных пленках кобальта. // Журн. Ползуновский Вестник. 2013. №1. С.105-109.

ДЕМАНГАНАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ПРИРОДНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Л.А. Минаева, ст. преподаватель, Е.Г. Филатова, к.т.н., доц.

Иркутский технический университет

664074 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел. (3952)-40-54-97

E-mail: lminaeva@istu.edu

В настоящее время проблема обезвреживания и очистки техногенных вод является одной из наиболее значимых и отражена во многих федеральных программах РФ. Важнейшее направление экологизации современного производства – разработка и внедрение эффективных и экономически обоснованных способов очистки сточных вод, позволяющих извлекать содержащиеся в них опасные для окружающей среды компоненты.

Присутствие марганца в природных и техногенных водах, ограничивает их применение для целей питьевого и производственного водоснабжения. Марганец в природной воде находится в растворимых комплексах с бикарбонатами $Mn(HCO_3)_2$ и сульфатами $MnSO_4$. Концентрация марганца в поверхностных и подземных водах подвержена сезонным колебаниям. Повсеместное распространение этого элемента на территории России делает эту проблему актуальной и востребованной по всей стране. Например, только в Иркутской области в шести административных территориях марганец является одним из приоритетных загрязнителей. Наличие марганца в воде оказывает общетоксическое и мутагенное действие на живые организмы, поэтому его содержание не должно превышать 0,1 мг/л [1, 2]. Более жесткие требования к содержанию марганца в воде предъявляют некоторые производства (бумажные, текстильные, пластмасс, синтетических волокон и др.) [3]. Учитывая данные, о неблагоприятном политропном действии марганца, необходимо проводить деманганацию, как сточных, так и природных вод [4].

Каждый из существующих способов и методов утилизации и очистки имеет свои достоинства и недостатки, и не один из них не является универсальным, простым и доступным при решении данной проблемы. Физико-химические методы являются одними из перспективных, для удаления ионов тяжелых металлов, в том числе ионов марганца (II). Одним из наиболее эффективных методов удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод является электрохимическая коагуляция. К основным преимуществам этого метода относятся: возможность использования на предприятиях оборотной системы водоснабжения; высокая степень удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод; компактность и простота эксплуатации установки для осуществления процесса электрокоагуляции; отсутствие потребности в реагентах; получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами; высокий бактерицидный эффект электрического тока снижает расход реагентов на обеззараживание воды.

Данная работа посвящена разработке эффективной электрокоагуляционной технологии деманганации техногенных образований и природных вод.

В качестве объекта исследования использовали модельные растворы с содержанием Mn^{2+} от 10 до 17 мг/л, сточные воды горно-обогатительного комбината и подземные воды селитебных территорий г. Иркутска, (табл. 1).

Таблица 1

Состав подземных вод селитебных территорий г. Иркутска

Наименование загрязнений	Содержание до очистки, мг/л	Содержание после очистки, мг/л
Mn ²⁺	2 мг/л	0,1 мг/л
Fe ³⁺	до 10 мг/л	менее 0,2 мг/л

Для приготовления модельных растворов использовали сульфат марганца MnSO₄·5H₂O квалификации х.ч. и дистиллированную воду. Концентрацию ионов тяжелых металлов в растворах определяли спектрофотометрическим методом анализа [5]. В таблице 2 представлены технические показатели и параметры работы электрокоагуляционной установки работающей в стационарных условиях.

Таблица 2

Технические показатели и параметры работы электрокоагуляционной установки

Объем установки, см ³	Площадь алюминиевых электродов, см ²	Расстояние между электродами, см	Плотность тока, мА/см ²	Сила тока, мА	Напряжение, В
100	8–16	1	0,5–10,0	4–160	12

Электрокоагуляционную обработку модельных растворов проводили в течение 30 минут. При этом экспериментально установлено, что в течение первых 15 минут электрокоагуляционного процесса происходит снижение концентрации ионов марганца (II) примерно на 60–70 %, а в течение последних 15 минут не более, чем на 5–9 %.

Следовательно, при удалении ионов марганца (II) электрокоагуляционную обработку целесообразно проводить не более 15 минут. На основании экспериментальных данных рассчитали расход алюминия в граммах необходимый для удаления 1 г ионов марганца (II) из модельных растворов и количество электричества по закону Фарадея. Из представленных данных (табл. 4) видно, что минимальный расход алюминия составил 4,0 г для удаления 1 г ионов марганца (II) при этом расход количества электричества соответствует 12,0 А·ч при pH=5,8.

Таблица 3

Расход алюминия и количество электричества электрокоагуляционного процесса

pH	3,46	3,85	4,13	4,51	5,51	5,42	5,81	6,01	6,55	6,9
Масса Al, г для удаления 1 г марганца	16,4	15,2	14,1	11,4	5,4	4,3	4,0	4,2	5,2	8,0
Количество электричества, (А·ч)	48,8	45,1	41,9	34,0	16,2	12,7	12,0	17,9	15,6	17,9

В основе метода электролитической коагуляции лежат процессы анодного растворения металлов, поэтому для нас представляет большой интерес рассмотреть поведение алюминия при анодной поляризации.

На потенциостате IPC PRO были сняты поляризационные кривые растворения алюминия в модельных растворах. При электрохимических измерениях использовали трехэлектродную ячейку, состоящую из вспомогательного электрода (платинового), рабочего электрода (алюминиевого) и электрода сравнения (хлорсеребряного). Все значения потенциалов в работе пересчитаны на шкалу нормального водородного электрода. Из представленной поляризационной кривой видно (рис. 1), что ее форма соответствует области активного растворения алюминия.

Таким образом, при работе при малых анодных плотностях тока пассивации алюминиевого электрода не происходит. Нами экспериментально установлена оптимальная плотность тока 1,6 мА/см² для электрокоагуляционного удаления ионов марганца (II) из модельных растворов.

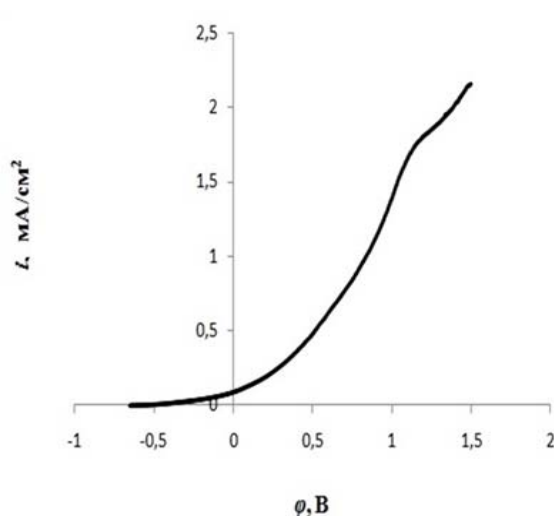


Рис. 1. Поляризационная кривая

Полученные оптимальные режимы электрокоагуляционного удаления ионов марганца (II) из модельных растворов были опробованы на сточных водах горно-обогатительного комбината и подземных водах селитебных территорий г. Иркутска. Использование вышеуказанных режимов позволило добиться снижения концентрации ионов марганца (II) в сточных водах более чем на 85 % и более чем на 96 % в подземных водах г. Иркутска.

Литература.

1. СанПин 2.1.5.980–00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения. – М. : Минздрав России. – 2000.
2. ГН 2.1.5.1315–03 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – Утв. постановл. гл. сан. врача РФ. 15.06. 2003. № 78, М.: 3 с.
3. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Иркутской области за 2012 год. – Иркутск : Изд-во Института географии им. В.Б. Согавы СОРАИ, 2013. – 337 с.
4. Минаева Л.А. Дударев В.И., Филатова Е.Г. Аналитический обзор методов очистки природных и технологических вод от марганца. Монография. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013 . 124 с.
5. ГОСТ 4974-72. Вода питьевая. Методы определения содержания марганца. - М. : Изд-во стандартов, 2001.- 6 с.

О ФИЗИКО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ

А.Е. Мойсейчик, магистр техн. наук, аспирант

Белорусский национальный технический университет

220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65, тел.: +375298564205

E-mail: ja-kytik_89@mail.ru

В процессе неразрушающего контроля качества (НКК) конструкций все более актуальной становится задача выявления всех опасных зон, в которых при эксплуатации возникают и развиваются дефекты, трещины. В современных производственных и эксплуатационных условиях НКК выполняется различными способами [1-4], отличающимися между собой по физической и приборной базе, трудоемкости и времени производства работ. Традиционные инструментальные методы выявления дефектов в конструкциях [1-4] предполагают наличие непосредственного доступа к поверхности обследуемых элементов, позволяют установить форму дефекта, его расположение, размеры, происхождение, являются технологически сложными и достаточно трудоемкими. Существенный недостаток таких подходов состоит в том, что технология НКК не учитывает данных прочностных, деформационных, энергетических расчетов конструкций, выполняемых на различных стадиях конструирования изделий.

Этот недостаток можно в значительной мере устранить, если скорректировать концепцию и методологию НКК таким образом, чтобы расчетный анализ и соответствующие физико-химические

методы выявления, подтверждения и визуализации дефектов в изделии выполнялись как стадии (этапы) единой физико-аналитической технологии неразрушающего контроля (ФАТНК). Одним из перспективных путей реализации ФАТНК может стать совмещение возможностей конечно-элементного анализа изделий в сочетании с физико-химическими методами выявления дефектов, основанных на взаимосвязи тепловых изменений с напряженно-деформированным состоянием и другими полями изделия при его испытании или эксплуатации (рис.1). Такой подход является достаточно универсальным в силу связности различных физических полей.



Рис. 1. Схема взаимосвязи тепломеханических процессов, рассматриваемых при моделировании напряженно-деформированного состояния стального изделия

Применение концепции ФАТНК при неразрушающем контроле стальных изделий

Деформирование твердого тела сопровождается выделением или поглощением тепла, что приводит к изменению поля температур[5-8] и необходимости рассмотрения связанных задач. Теплообразование происходит неодинаково по объему деформируемого тела. Области локализации теплового эффекта являются участки локализации пластической деформации, обычно сопровождающиеся на поверхности изделия линиями Чернова-Людерса. Это может привести к изменению поведения нагретой области материала относительно остального объема в результате происходящих в объеме физико-химических процессов, инициированных конкретным напряженно-деформированным состоянием. Так, при пластической деформации в результате развития и взаимодействия дислокаций происходит фрагментация кристаллов и их взаимная разориентировка. При этом плотность дислокаций изменяется в теле субзерен и увеличивается по их границам. На стадии больших пластических деформаций поворотное смещение объясняется развитием и движением клиновых дислокаций. Развитие и движение дислокаций и смежные физико-химические процессы вызывают повышение температуры деформированной области изделия.

Превращение энергии механического деформирования металла в окрестности дефекта в тепловую приводит к весьма существенному повышению там средней температуры[6-8]. В работе Брока[8] показывается, что такое повышение температуры в вершине трещины в сочетании с объемным напряженно-деформированным состоянием изменяет динамику развития трещины.

Для обнаружения дефекта в конструктивном элементе часто достаточно наблюдать за установившимся распределением деформационной температуры на поверхности тела. В иных случаях можно изменять состояние дефекта и инициировать его искусственный нагрев или охлаждение, чтобы усилить внутренний теплообмен. Для этого используются разнообразные приемы возбуждения теплового контраста между дефектными и бездефектными зонами элемента. Эти приемы можно разделить на внешние, при которых волна тепловой энергии поступает извне на поверхность, а затем распространяется через материал, пока не превратится в тепло в окрестности дефекта, и внутренние,

в которых энергия в различной форме вводится в исследуемый элемент с целью стимулирования дефекта к возбуждению электромагнитных колебаний инфракрасного (ИК) диапазона [4]. В качестве внешних источников служат различные оптические устройства, (фотовспышки - для импульсного теплообразования и галогенные лампы - для периодического возбуждения тепла). Внутренние возбуждения достигаются активацией деформаций в теле, которые по различным механизмам «внутреннего трения» на дефектах возбуждают деформационное теплообразование (механические колебания различной частоты и амплитуды и т.д.).

Благодаря ИК термографическому изображению следа потока деформационного тепла с использованием компьютерной термографии можно визуализировать дефекты металлургического, конструктивного, технологического и эксплуатационного происхождения (трещины, неоднородности и т.д.) [4], так как их теплопроводность отличается (обычно в меньшую сторону) от теплопроводности окружающего их материала. Теплопроводность материала изделия может локально меняться в тех областях, которые подвергались механическому или тепловому воздействию. Такие изменения зачастую являются более заметными, и поэтому их легче обнаружить, чем изменения в свойствах материалов. Тепловой поток наблюдается в изделиях всякий раз, когда уровни температур на каких-то смежных участках отличаются.

Преимущества изложенной технологии можно проиллюстрировать сопоставлением вида напряженного состояния отсеков стальной балочного образца в предельном состоянии (рис.2) с данными компьютерной термографии отсека балки в предельном состоянии (рис.3).

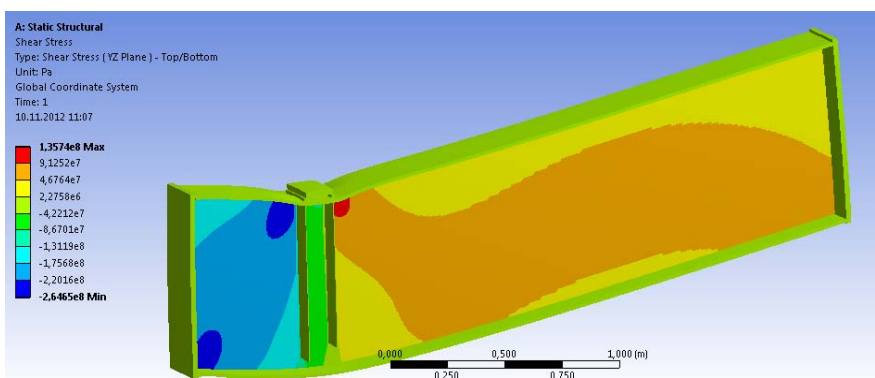


Рис. 2. Изображение напряженного состояния отсеков стальной балки в предельном состоянии, рассчитанное с использованием ПК ANSYS

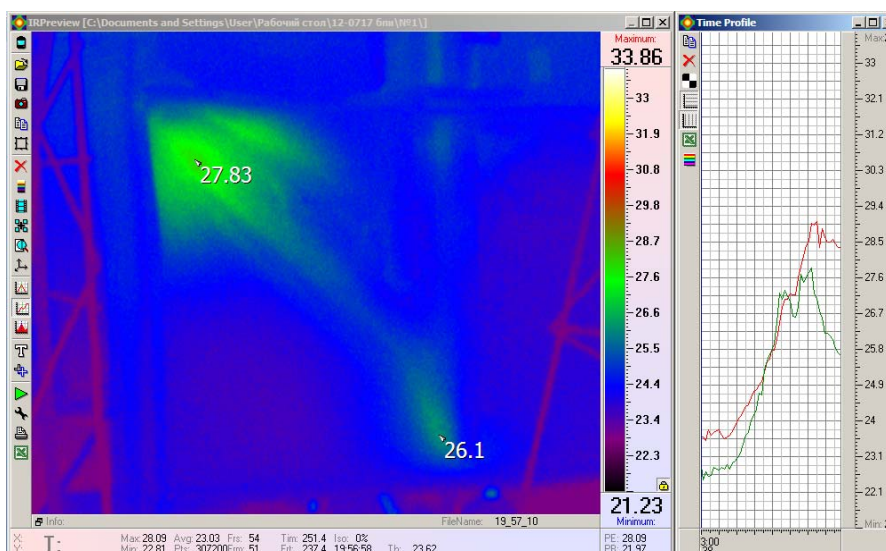


Рис. 3. Данные термографии фрагмента отсека балки в предельном состоянии, полученные с помощью компьютерного термографа «ИРТИС-2000» и программного пакета IRTIS

Выводы

Неразрушающий контроль изделий по технологии ФАТНК с использованием компьютерного ИК-термографического сканирования обладает высокой чувствительностью, наглядностью и объективностью результатов, позволяет с высокой производительностью в бесконтактном режиме определять локализацию и идентификацию дефектов, отслеживать их развитие с помощью пассивных и активных методов теплового контроля в процессе мониторинга. С помощью компьютерного термографирования можно проводить неразрушающий контроль балок с использованием деформационного тепла. При этом балки должны нагружаться усилиями, величина которых достаточна для возникновения тепла в контролируемых элементах.

Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 2: В 2 кн. Кн 2: Ю.К. Федосенко, В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, Ю.Я. Останин. Вихретоковый контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 688 с.
2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3: И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 4: В 3 кн. Кн. 1: В.А. Анисимов, Б.И. Каторгин, А.Н. Куценко и др. Акустическая тензометрия. Кн. 2: Г.С. Шелихов. Магнитопорошковый метод контроля. Кн. 3: М.В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.: ил.
4. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8т./Под общ.ред. В.В.Клюева. Т.5: В 2кн. Кн.1: Тепловой контроль/В.П.Вавилов.-М.: Машиностроение, 2004.-679с.
5. Экспериментальная механика: В 2-х книгах.: Кн.2. Пер. с англ./ Под ред. А.Кобаяси.- М.:Мир,1990.-552с.
6. Weichert, R. Heat generation at the tip of a moving crack/R. Weichert, K.Schoenert//J.Mech. Physics Solids.-1978.-26.-pp.151-161.
7. Мойсейчик Е.А. Исследование теплообразования и зарождения разрушения в стальной растянутой пластине с конструктивно-технологическим дефектом//Е.А.Мойсейчик //Прикладная механика и техническая физика.-2013.-№1.-С.134-142.
8. Brock, L.M. Effects of Thermoelasticity and a von Mises condition in rapid steady-state quasi-brittle fracture/L.M.Brock//Int.J.Structures.-1996.-Vol.33.-No28.-pp.4131-4142.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

М.К. Скаков, д.ф.-м.н., проф., Л.А. Ерыгина, докторант PhD

Филиал «Институт атомной энергии» НЯЦ РК, г. Курчатова, Казахстан

071100, Республика Казахстан, г. Курчатова, ул. Красноармейская, 10

раб. тел. (722-51)2-35-49 (вн.2-97), моб. тел. +7-705-530-78-53

E-mail: skakov@nnc.kz, lyuda.mila@mail.ru

Обработка стальных деталей электролитно-плазменным методом способствует повышению износостойкости, коррозионной стойкости и механической прочности. При воздействии на конструкционные стали плазмой электролита наблюдается ряд явлений: структурные и фазовые превращения в материале, массоперенос вещества, изменение рельефа обрабатываемой поверхности [1-3].

С учетом вышесказанного, целью настоящей работы является исследование изменения механических свойств поверхностных слоев конструкционной стали в процессе их обработки в плазме электролита при азотировании и нитроцементации.

В качестве материала исследования использовались образцы конструкционной стали 34ХН1М размером 30×30×7 мм. Химический состав стали 34ХН1М (0,34% С; 1,34% Cr; 0,67% Mn; 0,36% Si; 1,62% Ni; 0,24% Mo; 0,028% P; 0,033% S; остальное Fe) соответствовал ТУ 24-1-12-179-75. Сталь 34ХН1М предназначена для изготовления валов, шестерней, фланец, вал-шестерней, валов экскаваторов, муфт, лопаток турбинных двигателей и других особо ответственных высоконагруженных деталей машиностроения, к которым предъявляются высокие требования по механическим свойствам.

Структурные исследования поверхности образцов конструкционной стали 34ХН1М проводили в НИИ Нанотехнологии и новых материалов ВКГТУ им Д. Серикбаева и в научных лабораториях

Института материаловедения и соединительных технологий Университета им. Отто фон Гуерике (г. Магдебург, Германия) методами оптико-эмиссионной и оптической микроскопии.

Механические испытания на микротвердость проводились на установке ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76. Образцы после механической шлифовки и полировки с использованием алмазных паст подвергались химическому избирательному травлению для выявления микроструктуры поверхности стали.

Электролитно-плазменную обработку осуществляли в разных режимах. При электролитно-плазменном азотировании использовался водный раствор 30 % карбамида ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) и 15 % карбоната натрия (Na_2CO_3), при нитроцементации - водный раствор 25 % карбамида ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), 10% глицерина ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) и 10 % карбоната натрия (Na_2CO_3). Для каждого способа обработки были подобраны необходимые режимы с заданными значениями температуры и времени [4-7]. После осуществления закалку в потоке охлажденного электролита.

Проведенные металлографические исследования образцов конструкционной стали 34ХН1М (рис.1.(а)) в состоянии поставки, показали, что поверхность состоит из ферритно-перлитной структуры. Как видно из рисунка 1(а), зерна перлита и феррита располагаются друг относительно друга случайным образом. В результате анализа фрагментов, полученных методом электронно-оптической микроскопии, установлено, что после азотирования микроструктура поверхностного слоя представлена белым «нетравящимся» слоем, представляющим собой перлитную структуру с сеткой нитридов по границам зерен.

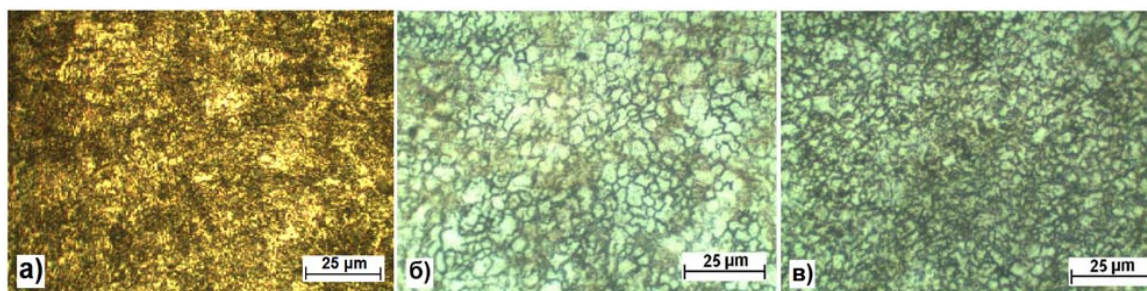


Рис. 1. Фрагменты микроструктуры образцов стали 34ХН1М а) исходное состояние, б) после электролитно-плазменного азотирования при температуре 700 °С в течение 5 мин, в) после электролитно-плазменной нитроцементации при температуре 750 °С в течение 7 мин.

Значения микротвердости поверхности 34ХН1М до и после электролитно-плазменной обработки показаны на рисунке 2. Исходная микротвердость имеет значение 262 HV (2330-2622 МПа). После электролитно-плазменного азотирования микротвердость возрастает до 6103 МПа, после нитроцементации в электролитной плазме – до 6899 МПа. Увеличение микротвердости вызвано, прежде всего, появлением нитридов железа. Высокая микротвердость после нитроцементации обусловлена появлением карбидов и нитридов железа.

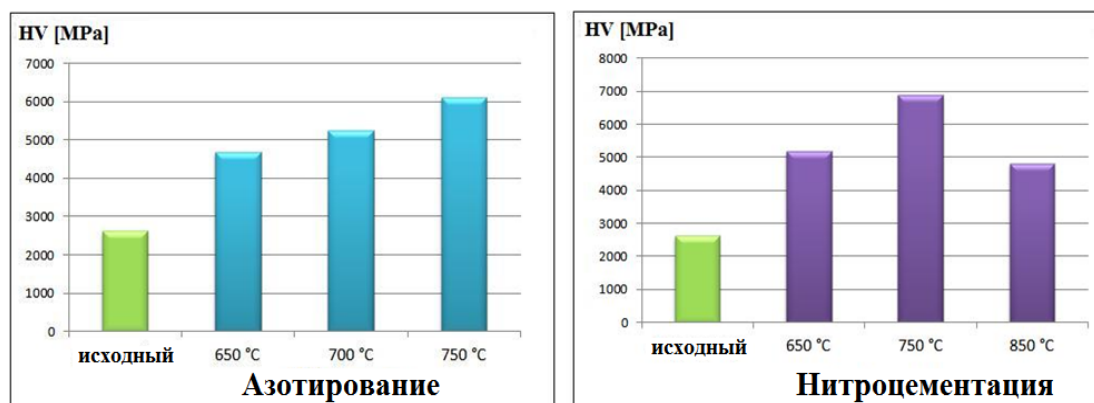


Рис. 2. Микротвердость образцов конструкционной стали 34ХН1М в состоянии поставки и после электролитно-плазменной обработки

На рис. 3 показаны данные оптико-эмиссионного анализа образцов стали 34ХН1М в исходном состоянии и после электролитно-плазменной нитроцементации и азотирования. Исследования проведены на оборудовании Университета Отто-фон-Гуерике (Магдебург, Германия). По гистограмме распределения элементного состава видно, что после обработки произошло насыщение поверхностного слоя азотом. Насыщение азотом при нитроцементации интенсивнее, что объясняется присутствием углеродсодержащих компонентов в составе электролита.

Проведение трибомеханических исследований показало, что после электролитно-плазменной обработки модифицированная поверхность имеет меньший коэффициент трения по сравнению с исходным значением (рис. 4). Изучение следа износа, представленного на рис. 5, также свидетельствует об улучшении эксплуатационных характеристик и увеличении времени износа слоя.

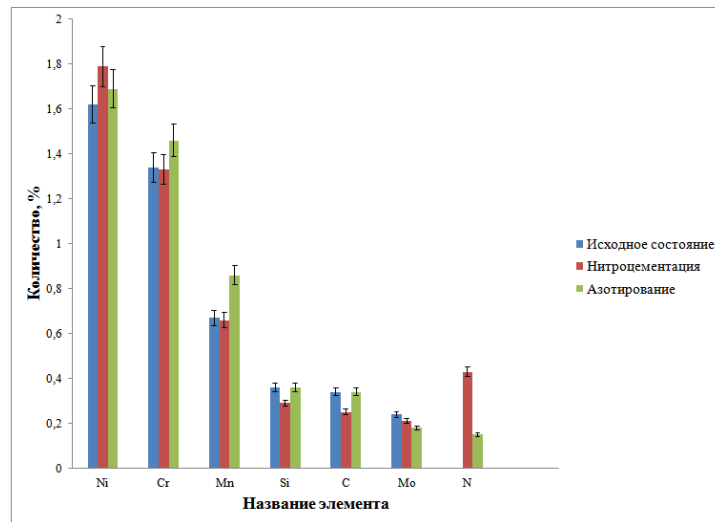


Рис. 3. Результаты оптико-эмиссионной спектроскопии стали 34ХН1М до и после электролитно-плазменной обработки

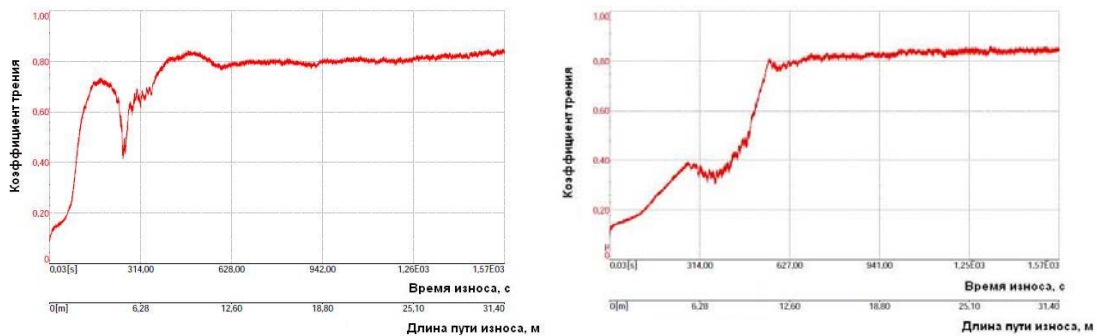


Рис. 4. Коэффициент трения поверхностного слоя до и после электролитно-плазменной обработки

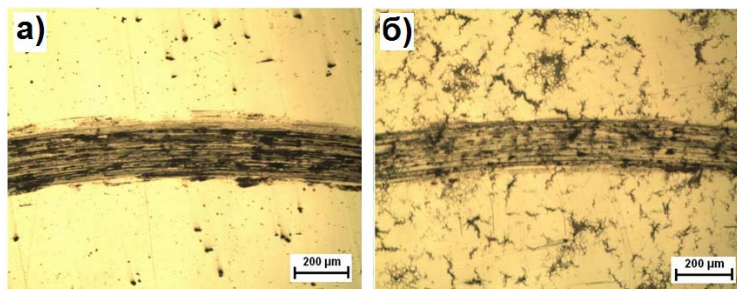


Рис. 5. След износа а) в состоянии поставки, б) после электролитно-плазменной обработки

Особенностью электролитно-плазменной обработки является образование около поверхности обрабатываемой детали парогазовой оболочки при резком увеличении напряжения до критического значения. Возникновение электролитной плазмы между анодом и обрабатываемой деталью возможно при неравенстве их площадей. Ток, который протекает через плазменную оболочку, может нагревать катод до температуры плавления материала.

Моделирование формирования парогазовой оболочки у поверхности детали и расчет теоретической толщины проводили в среде Borland Delphi 7.0 с учетом следующих параметров:

- геометрические размеры обрабатываемой детали;
- глубина погружения детали в электролит;
- плотность и коэффициент теплопроводности стали;
- состав и плотность электролита;
- напряжение, плотность тока и время обработки.

Также было учтено влияние теплового эффекта фазового превращения, зависимость свойств материалов от температуры и фазового состава.

Разработанная нами компьютерная программа представляет собой диалоговое окно, с несколькими полями для ввода необходимых параметров. При проектировании программы использовались стандартные библиотеки Borland Delphi 7.0. В программе возможно использование электролитов разного состава, которые можно выбирать в диалоге. После ввода всех параметров появляется схематичное изображение парогазовой оболочки в прикатодной области и выводится результат расчета.

На рис. 6 представлены зависимости толщины парогазовой оболочки от температуры, линейных размеров образца и глубины погружения образца в электролит. Толщина парогазовой оболочки увеличивается пропорционально росту температуры, но, как показали расчеты, оптимальной для обработки деталей является толщина парогазовой оболочки ~52 мкм. При увеличении линейных размеров образца толщина парогазовой оболочки уменьшается.

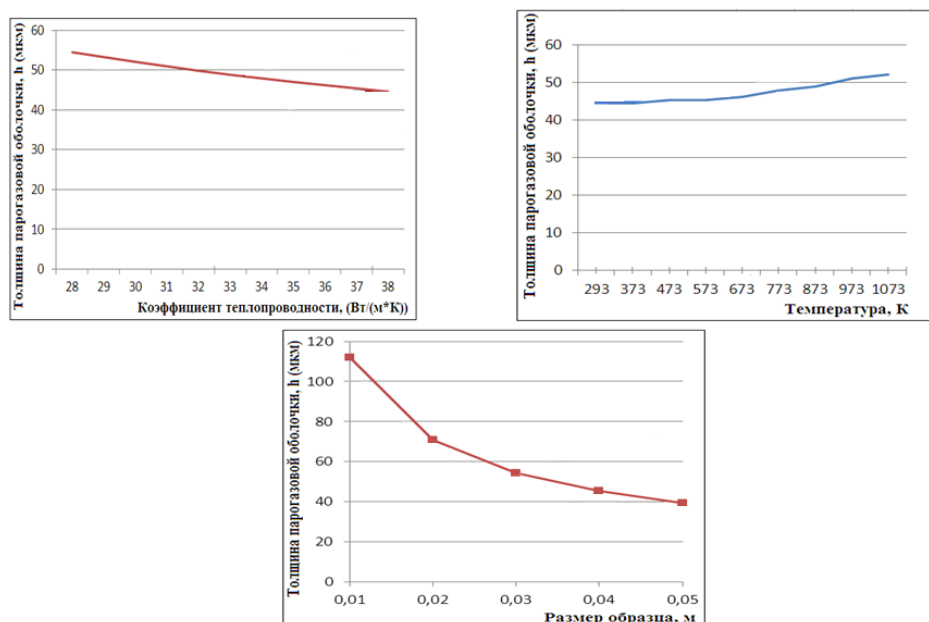


Рис. 6. Зависимость толщины парогазовой оболочки от коэффициента теплопроводности стали, температуры нагрева и размеров образца

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

Установлено, что применение электролитно-плазменного азотирования и нитроцементации с последующей закалкой в потоке электролита позволяет получить модифицированный поверхностный слой стальной детали, в котором равномерно распределены все фазообразования, обеспечивающие повышение износостойкости и микротвердости, а также улучшение эксплуатационных характеристик изделий.

Определена зависимость толщины парогазовой оболочки от коэффициента теплопроводности стали, температуры нагрева и размеров образца.

Литература.

1. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. - Москва: Техносфера, 2011. - 464 с.
2. Григорьев А.И. О переносе энергии и формировании электрического тока в окрестности опущенного в электролит, сильно нагретого протекающим током электрода // Журнал технической физики.-2004.-Т.74.-вып.5.-С.38-43
3. Ю.Г. Алексеев, А.Ю. Королев, В.С. Нисс «Влияние электролитно-плазменной обработки на структуру и свойства поверхности». Сборник докладов международного симпозиума «Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка», с. 158-165, Минск, 25-27 марта 2009 г.
4. Патент №878 на полезную модель «Установка электролитно-плазменной обработки» / Скаков М.К., Парунин С.В., Веригин А.А., Фурсов А.В., Сапатаев Е.Е., Курбанбеков Ш.Р. заявл. 31.01.2012, опубл. 15.11.2012, бюл. №11
5. Скаков М.К., Журерова Л.Г. «Способ обработки деталей из легированной стали»// № 2012/0550.1 приоритет от 23.05.2012., решение о выдаче положительного заключения инновационного патента на изобретение РК.
6. Skakov M., Zhurerova L., Scheffler M. Electrolytic-Plasma Cementation Influence of Regimes on Phase Structure and Steel 30CrMnSi Hardening, «The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST2012», Proceedings of IFOST2012/ Tomsk Polytechnic University/VOLUME II, .September 17-21, 2012, 186-190 стр
7. Скаков М.К., Журерова Л.Г., Шеффлер М. «Influence of Regimes Electrolyte-Plasma Processing on Phase Structure, Mechanical Properties and Wear Resistance of Steel 30CrMnSi», The 32th All-Polish Tribology conference Autumnal school of Tribology 2012 Wroclaw University of Technology Institute of Machine Design and Operation, Wroclaw, Poland, 2012, pp. 178-182.

**ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ
И АЗОТИРОВАНИЯ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12X18X10T**

*М.К. Скаков, д.ф.-м.н., проф., Ш.Р. Курбанбеков, докторант PhD 3 курса
Филиал Институт атомной энергии, НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан
071100, г. Курчатов ВКО, ул. Красноармейская 10, тел. (722-51) 2-33-33
E-mail: skakovmk@mail.ru*

Анализ современного состояния вопроса показывает, что эффективным способом поверхностного упрочнения сталей и сплавов, имеющим перспективы дальнейшего развития, является химико-термическая обработка (ХТО) [1]. Многообразие видов и вариантов ХТО дает возможность подобрать оптимальный способ упрочнения, исходя из экономических и эксплуатационных задач [2].

Способы скоростного нагрева, в том числе катодный нагрев в электролитах, обладает рядом достоинств с точки зрения использования его для термической или химико-термической обработки [3,4]. Химико-термическое упрочнение, в частности, нитроцементация и азотирование позволяют повысить как механические (твёрдость, прочность, износостойкость), так и антикоррозионные свойства.

Постоянно расширяющееся применение нитроцементации объясняется рядом достоинств этого метода упрочнения по сравнению с остальными: более низкой температурой процесса насыщения, более высокими прочностными свойствами деталей. В то же время, преимущества электрохимико-термического азотирования наиболее значительны при кратковременной обработке в течение нескольких минут, позволяющей получить малоазотистые слои толщиной до 40 мкм [5].

При одновременной диффузии углерода и азота в аустените ускоряется диффузия углерода, кроме того, азот повышает содержание остаточного аустенита в структуре закаленного модифицированного слоя. Остаточный аустенит задерживает возникновение усталостных нарушений и повышает усталостную прочность электролитно-плазменно обработанных деталей. Наличие азота в твердом растворе повышает устойчивость переохлажденного аустенита. Для совмещения кратковременного

азотирования с закалкой, электролитный нагрев особенно удобен из-за возможности выполнения закалки в том же растворе, на том же оборудовании простым отключением напряжения.

Целью настоящей работы является изучение фазового состава поверхности стали 12Х18Н10Т при электролитно-плазменной нитроцементации и азотировании с последующей закалкой.

В качестве объекта исследования была выбрана сталь аустенитного класса 12Х18Н10Т, химический состав которой представлен в таблице 1[6].

Методика исследования

Таблица 1

Химический состав аустенитной стали 12Х18Н10Т (вес.%)

Fe	C	Cr	Ni	Ti	Si	Mn	P	S
Осн.	0.12	17.00	10.66	0.50	0.34	1.67	0.032	0.013

Для исследования изготовили пластинчатые образцы размером 30x30x5 мм³ из листового проката стали 12Х18Н10Т. Электролитно-плазменную нитроцементацию и азотирование проводили на разработанной нами установке [7] следующим образом: сначала нагревали образец при напряжении 320 В и силой тока 20-25 А в пределах температур 700-900 °С и выдерживали 10-12 сек. Нагрев образцов осуществляли плазмой, при этом образцы частично погружали в электролит на глубину 4-5 мм, затем снижали напряжение до 170 В и силу тока до 10-12 А, выдерживали при температуре в течение 5-7 минут, после чего осуществляли закалку в потоке охлажденного электролита. Для нитроцементации: раствор, содержащий карбамид 15%NH₂CONH₂, 10 % глицерин (C₃H₈O₃) и 10 % карбонат натрия (Na₂CO₃), для азотирования: раствор, содержащий карбамид 20%NH₂CONH₂, и 10 % карбонат натрия (Na₂CO₃).

Температуру электролита поддерживали 25±5 °С на входе в рабочую камеру. Температуру нагрева измеряли с помощью цифрового измерителя температуры АТЕ-9380.

Рентгеноструктурный анализ поверхностного слоя образцов осуществляли на дифрактометре XRD-6000 с использованием CuK_α-излучения в центр коллективного пользования ТГУ в марте 2013. Морфологию структуры поверхности изучали на оптическом микроскопе Альтами МЕТ 1М в НИИ «Нанотехнологии и новые материалы» ВКГТУ.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 1 приведен фрагмент микроструктуры поверхности стали 12Х18Н10Т после травления раствором 10%-ой щавелевой кислотой в течение 30-90 с. Результаты металлографических исследований свидетельствуют о том что, в исходном состоянии микроструктура является аустенитом (рис.1а). Поверхность образца после обработки электролитно-плазменной нитроцементацией при температуре 850°С в течение 7 минут представлена на рис.1б. Видно, что после обработки у границ зерен образовались карбиды железа. Известно, что образование карбидов по границам зерен аустенита оказывает непосредственное влияние на механические свойства стали. На рис.1с представлена микроструктура после электролитно-плазменного азотирования при температуре 750°С в течение 7 мин. Видны частицы нитридов. Таким образом, микроструктура модифицированной поверхности в обоих случаях представляет собой мартенситную структуру и остаточный аустенит.

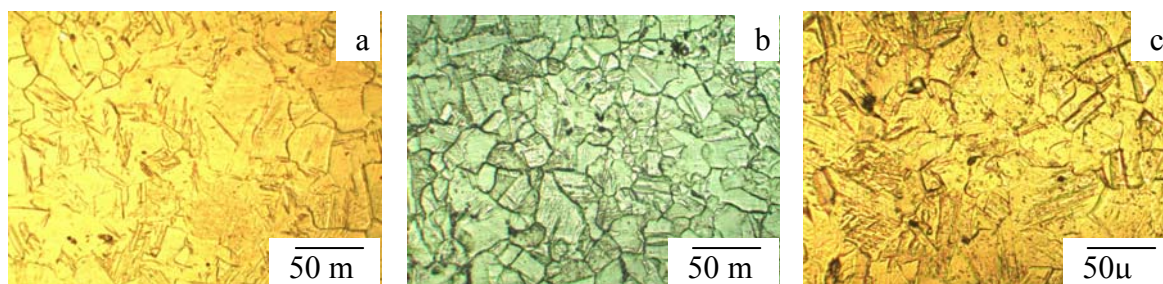


Рис.1. Микроструктура поверхности стали 12Х18Н10Т а) исходная, б) после электролитно-плазменной нитроцементации при температуре 850 °С в течение 7 мин, с) после электролитно-плазменной азотирования при температуре 750 °С в течение 7 мин

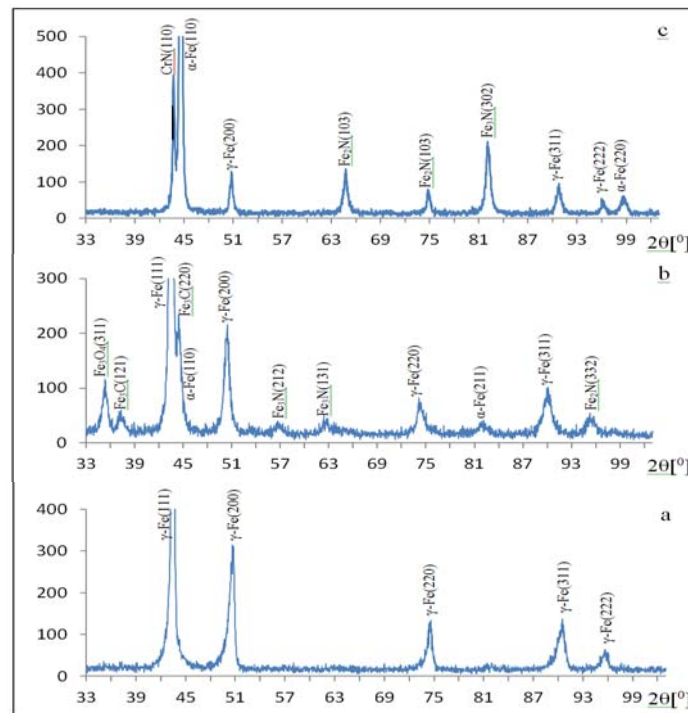


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы стали 12X18N10Т а) в исходном состоянии, б) после нитроцементации в течение 7 мин при температуре 850 °С с) после азотирования в течение 7 мин при температуре 750 °С

На рис. 2 представлены рентгеновские дифрактограммы, показывающие изменение фазового состава модифицированной поверхности стали. После электролитно-плазменной нитроцементации в микроструктуре поверхности образцов имеются упрочняющие фазы Fe_3C (карбиды), Fe_{2-3}N (нитриды), и α -фаза на основе Fe, которая свидетельствует о появлении мартенсита закалки (рис.2б). После электролитно-плазменного азотирования на поверхности образцов обнаружены также фазы Fe_{2-3}N (нитриды), CrN (хром нитрида), α -мартенсит и остаточный γ -аустенит (рис. 2с). По результатам рентгеноструктурного анализа можно говорить об оптимальном режиме для нитроцементации и азотирования. Оптимальными параметрами при электролитно-плазменной нитроцементации являются – температура 850°С с выдержкой в течение 7 минут, а для электролитно-плазменного азотирования – температура 750 °С в течение 7 минут.

Выводы

На основании анализа полученных результатов оптической микроскопии и рентгеноструктурных исследований влияния электролитно-плазменной нитроцементации и азотирования поверхности образцов стали 12X18N10Т можно сделать следующие выводы.

Обнаружено, что при электролитно-плазменной нитроцементации при температуре 850°С в течение 7 минут и электролитно-плазменном азотировании при температуре 750°С в течение 7 минут в микроструктуре поверхности стали 12X18N10Т выделяются карбиды, нитриды и мартенситная структура а также остаточный аустенит.

Установлено, что после электролитно-плазменной обработки появляются частицы упрочняющих фаз – карбидов Fe_3C , нитридов Fe_{2-3}N , CrN. Основной состав представлен γ -фазой, также содержатся отдельные частицы оксидов Fe_3O_4 , и α' - мартенсита. Появление новых фаз способствует значительному упрочнению модифицированной поверхности стали 12X18N10Т.

Работа выполнена при финансовой поддержке АО «НАТР» РК на 2012-2014 гг.

Литература.

1. J.S. Lian, G.Y. Li, L.Y. Niu, C.D. Gu, Z.H. Jiang, Q. Jiang, Surf. Coat. Technol. 200 (2006) 5956.
2. M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler, A. Naltaev: Changes of mechanical properties of steel 12Cr18Ni10Ti after electrolytic-plasma cementation, Advanced Materials Research, vol. 601, 2013, pp. 59-63. <http://www.scientific.net/AMR.601.59>

3. M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler, Influence of regimes electrolytic plasma cementation on the mechanical properties of steel 12Cr18Ni10Ti, Key Engineering Materials vol. 531-532, 2013, pp. 173-177. <http://www.scientific.net/KEM.531-532.173>.
4. Y.N. Saraev, V.P. Bezborodov, A.A. Shtertser, V.Y. Ulyaniyskii, A.M. Orishich, A.F. Il'yushchenko, M.K. Skakov, Modification of coatings by refractory compound to increase the service reliability of components, Welding International, 26 (11) 2012, pp 881-886.
5. R.O. Hussein, X. Nie, D.O. Northwood, A. Yerokhin, A. Matthews, Spectroscopic study of electrolytic plasma and discharging behaviour during the Plasma Electrolytic Oxidation process– J. Phys D: Appl. Pys., 43 (2010) 105203 (13 pp).
6. A.S.Zubchenko: Marochnik staley i splavov, izdatelstvo mashinostroenie 2003, pp 784 (in Russian).
7. Ustanovka elektrolitno-plazmennoi obrabotki: Patent na poleznuyu model Respublika Kazakhstan: KZ (13) C21D 1/78/ M.K. Skakov, S.V. Parunin, A.A. Verigin, A.V. Fursov, E.E. Sapataev, SH.R. Kurbanbekov - № 75478 / Zayavl. 31.01.2012; Opubl. 15.11.12, Byul. №11.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Д.В. Медведев, студент

Институт металлургии и химической технологии имени С.Б. Леонова

Иркутский государственный технический университет

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83е

E-mail: dima93medvedev@mail.ru

Природа не возражает, ей подражают», – гласит один из законов экологии. На таких принципах работают водоочистные сооружения.

Из общего количества сточных вод 69% – условно чистые, 18% – загрязненные, 13% – нормально очищенные.

Основными способами очистки сточных вод являются:

- механический;
- физико-химический;
- биологический [1].

Одним из наиболее распространенных методов водоочистки жидкости для промышленного и хозяйственного использования, является механическая очистка сточных вод. К механическим способам очистки сточных вод можно отнести фильтрацию, осаждение, и флотацию стоков [2].

Механическую очистку сточных вод применяют преимущественно как предварительную. Механическая очистка обеспечивает удаление взвешенных веществ из бытовых сточных вод на 60–65%, а из некоторых производственных сточных вод на 90–95%. Задачи механической очистки заключаются в подготовке воды к физико-химической и биологической очисткам. Механическая очистка сточных вод является в известной степени самым дешевым методом их очистки, а поэтому всегда целесообразна наиболее глубокая очистка сточных вод механическими методами

В настоящее время к очистке предъявляют большие требования. Это приводит к созданию высокоэффективных методов физико-химической очистки, интенсификации процессов биологической очистки, разработке технологических схем с сочетанием механических, физико-химических и биологических способов очистки и повторным использованием очищенных вод в технологических процессах.

Механическую очистку проводят для выделения из сточной воды находящихся в ней нерастворенных грубодисперсных примесей путем процеживания, отстаивания и фильтрации.

Сооружения для механической очистки сточных вод:

- решётки (или УФС – устройство, фильтрующее самоочищающееся) и сита;
- песколовки;
- первичные отстойники;
- мембранные элементы;
- септики [3].

Для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения применяются решётки и для более полного выделения грубодисперсных примесей – сита. Максимальная ширина прозоров решётки составляет 16 мм. Отбросы с решёток либо дробят и направляют для совместной переработки с осадками очистных сооружений, либо вывозят в места обработки твёрдых бытовых и промышленных отходов.

Затем стоки проходят через песколовки, где происходит осаждение мелких частиц (песок, шлак, бой стекла т. п.) под действием силы тяжести, и жироловки, в которых происходит удаление с поверхности воды гидрофобных веществ путём флотации. Песок из песколовок обычно складывается или используется в дорожных работах.

В последнее время мембранная технология становится перспективным способом при очистке сточных вод. Очистка сточных вод с использованием прогрессивной мембранной технологии применяется в комплексе с традиционными способами, для более глубокой очистки стоков и возврата их в производственный цикл.

Очищенные таким образом сточные воды переходят на первичные отстойники для выделения взвешенных веществ. Снижение БПК составляет 20–40 %.

В результате механической очистки удаляется до 60–70 % минеральных загрязнений, а БПК5 снижается на 30 %. Кроме того, механическая стадия очистки важна для создания равномерного движения сточных вод (усреднения) и позволяет избежать колебаний объёма стоков на биологическом этапе [4].

Одним из наиболее излюбленных и популярных среди потребителей способов очищения является фильтрация. Фильтрация, как способ механической очистки сточных вод, осуществляется с помощью пористых или сетчатых материалов с пространственным рейтингом определённого количества и размера, получившего название фильтра.

Метод осаждения в основном используется для жидкости, загрязнённой тяжёлыми взвешенными веществами. Применение этого метода возможно в двух альтернативных формах:

1. Фильтрация под воздействием силы тяжести. В этом случае осуществляется простое отстаивание жидкости, в результате которого тяжёлые загрязняющие вещества отслаиваются и остаются на дне отстойника.
2. Фильтрация под воздействием центробежных сил. Однако, сооружения для очистки сточных вод механическим способом путем осаждения могут очищать стоки лишь от более или менее крупных частиц, имеющих размеры в пределах нескольких миллиметров.

В данном случае рекомендуется проводить многоступенчатое очищение, сущность которого заключается в том, что частично очищенная жидкость после первой обработки поступает на следующий этап восстановления своих свойств, и так раз за разом, пока вода не достигнет совершенной чистоты в соответствии с установленными нормами [5].

Для очистки сточных вод фильтрованием применяют в основном два типа фильтров: 1) *зернистые* (для очистки больших расходов сточных вод от мелкодисперсных твердых примесей), в которых очищаемую сточную воду пропускают через насадки несвязанных пористых материалов (частицы мраморной крошки, шунгизит и др.), и 2) *микрофильтры*, фильтроэлементы которых состоят из связанных пористых материалов (сеток, натуральных и синтетических тканей, спеченных металлических порошков и др.). В настоящее время для очистки сточных вод от масла - продуктов широко используют фильтры с фильтрованным материалом из частиц пенополиуретана. Пенополиуретановые частицы, обладая большой маслопоглощаемой способностью, обеспечивают эффективность очистки до 0,97–0,99 при скорости фильтрования до 0,01 м/с [6].

Рассмотри сооружения для очистки сточных вод. Для удаления из сточных вод взвешенных веществ методом отстаивания используют аппараты периодического и непрерывного действия.

Песколовки защищают отстойники от загрязнения минеральными примесями. Конструкция песколовки может быть различной и зависит от количества поступающих стоков. После песколовки воды поступают в первичные отстойники, где осуществляется осаждение нерастворимых взвешенных частиц как органического, так и минерального происхождения. Песколовки бывают горизонтальные, вертикальные и щелевые.

Горизонтальные и вертикальные песколовки применяют на очистных сооружениях, щелевые – на каналах. Песколовки проектируют двухсекционными, чтобы во время ремонта и очистки от песка работала хотя бы одна секция, даже с временной перегрузкой.

В горизонтальной песколовке процесс осаждения песка и других частиц минерального происхождения осуществляется при горизонтальном движении жидкости со скоростью 0,1 м/сек. В вертикальных песколовках осаждение осуществляется в период подъема жидкости снизу вверх со скоростью 0,05 м/сек. Выбор того или иного типа песколовки зависит от общей высотной компоновки сооружения.

Отстойники – основной и наиболее распространенный тип очистных сооружений. В них оседают нерастворенные взвешенные частицы как органического, так и минерального происхождения.

Отстойники бывают с горизонтальным движением воды – горизонтальные и с вертикальным движением воды – вертикальные.

При больших расходах сточных вод применяют отстойники непрерывного действия. При расходе сточных вод не более 50000 м³/сут используют вертикальные отстойники. Кроме этого бывают радиальные отстойники, в которых вода движется в радиальном направлении.

Отстойники могут быть первичными и вторичными. Первичные отстойники устанавливают перед сооружениями биологической очистки, а вторичные – устанавливают для вторичного осветления воды после сооружений биологической очистки. После биофильтров вторичные отстойники одновременно являются и контактными. Если местные условия позволяют выпускать сточные воды после первых отстойников в водоемы, то в схеме механической очистки должно предусматриваться обеззараживание (хлорирование) в контактном резервуаре.

Осадок, полученный в первичных отстойниках, перегнивает, а затем его высушивают на специально отведенных площадках и используют в качестве сельскохозяйственного удобрения. Вертикальные отстойники могут быть прямоугольными или круглыми в плане.

Чаще всего используются круглые отстойники, которые представляют собой резервуары со срезанным коническим днищем. В центре отстойника устанавливается труба, по которой сточные воды поступают к нижней части отстойника. По периферии отстойника устраивают сборные желоба. Осаждение суспензии в отстойнике осуществляется тогда, когда сточная вода отбивается от зонта и центральной трубы и со скоростью 0,7 м/сек поднимается вверх. Образовавшийся в отстойнике осадок удаляется иловой трубой под действием столба воды.

Горизонтальные отстойники представляют собой резервуары, длина которых в 4–5 раз больше их ширины. Устраивают их преимущественно из железобетона, кирпича, камня и других водостойких материалов. Резервуары имеют наклон в сторону приемки, который устраивают вначале отстойника (за потоком воды). Такая конструкция обеспечивает наиболее интенсивное осаждение суспензии.

Для равномерного распределения потока сточных вод по ширине отстойника вначале и в конце его устраивают желоба. Для распределения жидкости по всей глубине отстойника в начале на некоторую глубину устанавливается отбойная доска. Чтобы предотвратить вынос на поверхность жидкости веществ, которые всплывают, в конце отстойника устанавливают плавающую доску.

В больших отстойниках для удаления осадка устанавливают механические скребки, с помощью которых осадок подается в приемок, а оттуда удаляется иловой трубой. Радиальные отстойники являются разновидностью горизонтальных. В плане они представляют собой круглые железобетонные резервуары, в которых жидкость движется в горизонтально-радиальном направлении от центра к периферии.

Вода поступает в центральную распределительную трубу, а собирается периферийным лотком. В отстойниках данного типа хорошо объединяется смена рабочего сечения с динамикой осаждения суспензии. Поперечное сечение отстойника от центральной трубы к периферийному лотку постепенно увеличивается.

Обычный эффект осветления сточных вод в первичных отстойниках не более 60 %, а вынос взвешенных частиц превышает 100–150 мг/л, что создает неблагоприятные условия для дальнейшей биологической очистки сточных вод. Для большей эффективности осветления сточных вод применяют взвешенные фильтры (аналогично с осветлением питьевой воды). В осветлителях со взвешенным фильтром осуществляется взаимная коагуляция взвешенных частиц или флокуляция.

Так как загрязненные сточные воды являются дисперсной системой, в которой крупные частицы в совокупности с мелкими ускоряют коагуляцию, задача состоит в том, чтобы создать оптимальные условия для коагуляции сточных вод. Для этого выполняют предварительную аэрацию сточных вод в аэраторах или в биокоагуляторах.

Аэраторы и биокоагуляторы – это сооружения, в которых осуществляются процессы безреагентной коагуляции и флокуляции примесей с чрезмерным илом при продувке воды сжатым воздухом.

Аэраторы представляют собой прямоугольные резервуары с перегородками для удлинения путей движения сточной воды. Аэраторы служат для повышения степени осветления сточных вод в отстойниках, для устранения из сточной воды жидкого жира и подготовки к биологической очистке стоков.

Биокоагулятор представляет собой вертикальный или горизонтальный отстойник с кольцевой отстойной зоной и центральной камерой биокоагуляции, в которой осуществляется перемешивание и контакт излишнего активного ила со сточными водами [3].

Очистку сточных вод в поле действия центробежных сил осуществляют в открытых или напорных гидроциклонах, или центрифугах. Открытые гидроциклоны применяют для выделения из сточной воды крупных твердых примесей со скоростью осаждения более 0,02 м/с. Такие гидроциклоны имеют большую производительность и малые потери напора, не превышающие 0,5 м. Эффективность очистки сточных вод от твердых частиц в гидроциклонах зависит от состава примесей (материала, размера, формы частиц и др.), а также от конструктивных и геометрических характеристик гидроциклона [6].

Механическую очистку стоков просто необходимо проводить. Принцип механической очистки заключается в том, что на данном этапе из стоков удаляются все твердые нерастворимые вещества и примеси, которые могут повредить дальнейшее очистное оборудование и сооружения.

Литература.

1. Медведев Д.В. Очистка сточных вод / Д.В. Медведев // Научные исследования современности: сборник научных трудов. Т. 7. – Катовице: изд-во «Diamond trading tour», 2013. – с 80-82.
2. Варежкин Ю.М. Очистка сточных вод / Ю.М. Варежкин, А.Н. Михайлова, И.Н. Сеницына – М., 1989.-54с.
3. Яковлев С.В. Очистка производственных сточных вод / С.В. Яковлев и др. – М. Стройиздат, 1985.-335с.ил, табл.
4. Лебедева М. И., Анкудимова И. А. Экология: Учеб. пособие./ М. И. Лебедева, И. А. Анкудимова -Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. - 80 с.
5. Гужулев Э.П. Водоподготовка и вводно-химические режимы в теплоэнергетике: Учеб. пособие / Э.П. Гужулев, В.В. Шалай, В.И. Гриценко, М.А. Таран. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 384 с.
6. Тотай А.В. Экология: краткий курс лекций / А.В. Тотай, А.В. Корсаков, С.С. Филин – М.: Изд-во Юрайт, 2012. – 175 с.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОГО СТЕКЛА ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

С.Б. Сапожков, д.т.н., доцент, С.В. Макаров, ассистент

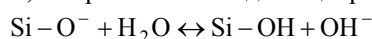
*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, г. Юрга ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 5-09-06
E-mail: Sergmakarov21@mail.ru*

В последние десятилетия научные представления о водных силикатных системах, а вместе с тем и знания прикладного характера, значительно усовершенствовались. Главное достижение в этой области состоит в возможности, благодаря современным методам исследования, определять на качественном и количественном уровне анионный состав силикатных растворов. В ряде практических приложений знание полимерного состава раствора позволяет прогнозировать структуру и свойства получаемых из него продуктов или получать продукты с заранее заданными свойствами, например, свойства покрытий сварочных электродов.

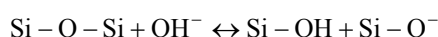
Наиболее широкое распространение в промышленности имеют жидкие стекла – растворы силикатов натрия и калия, силикатный модуль которых находится в пределах 2,5-4 при плотности растворов от 1,3 до 1,45 г/см³. Они представляют собой преимущественно истинные растворы щелочных солей низкополимерных поликремниевых кислот. Особенности полимерного состава анионной части этих растворов определяют их реологические параметры, влияют на структуру получаемых из них материалов. Натриевые и калиевые жидкие стекла производятся автоклавным растворением безводного стекловидного щелочного силиката – силикат-глыбы, получаемой сплавлением кремнезёма с карбонатом или сульфатом натрия. Многие потребители жидкого стекла в целях экономии при транспортировке покупают силикат-глыбу и затем готовят растворы самостоятельно, используя автоклавную технику.

В промышленных условиях растворение силикат-глыбы обычно осуществляют во вращающихся автоклавах под давлением 0,3-0,7 МПа при температуре 135-150°C. В этих условиях процесс растворения занимает 1-2 часа.

Процесс растворения можно вести и безавтоклавым методом. В этом случае силикат-глыбу предварительно измельчают, а процесс растворения ведут в обогреваемых реакторах с мешалками в течение нескольких часов. Способность щелочесиликатного стекла (натриевого и калиевого) растворяться в воде обусловлена наличием связей Si-O-Na, которые способны диссоциировать и гидролизываться:



Гидролиз связей в поверхностных слоях твердой фазы способствует накоплению в растворе гидроксид-ионов, которые диффундируют к поверхности и разрушают кремнекислородный каркас по связям Si-O-Si:



Таким образом, в результате этих реакций в раствор сперва переходят катионы щелочного металла и гидроксид-ионы; под воздействием OH⁻ ионов кремнекислородный каркас разрушается и в растворе появляются анионы низкополимерных поликремниевых кислот.

К основным характеристикам жидкого стекла относятся:

- вид катиона;
- силикатный модуль;
- концентрация.

В некоторых областях применения важное значение имеет содержание примесей и их природа. По виду катиона жидкие стекла могут быть натриевыми, калиевыми, реже – литиевыми. Силикатный модуль может быть выражен через молярное или массовое (весовое) содержание главных компонентов – SiO₂ и M₂O – в системе:

$$n = \frac{\text{SiO}_2^m \%}{\text{M}_2\text{O}^m \%};$$
$$n_w = \frac{\text{SiO}_2^w \%}{\text{M}_2\text{O}^w \%}, \quad (1)$$

где n и n_w – соответственно молярный и весовой модули; SiO₂^m% и M₂O^m% – содержание SiO₂ и оксида щелочного металла, мол %; SiO₂^w% и M₂O^w% – содержание SiO₂ и оксида щелочного металла, мас %.

Взаимосвязь между весовым и молярным силикатными модулями выражается формулой:

$$n = n_w \cdot k,$$

где $K = \frac{M_{\text{M}_2\text{O}}}{M_{\text{SiO}_2}}$ (1)

Здесь M_{SiO₂} и M_{M₂O} – молярные массы SiO₂ и щелочного оксида, г/моль. Соотношение k равно 1,032 и 1,568 соответственно для натриевой и калиевой систем [1].

Следует обратить внимание, что в России чаще используется молярный модуль, за рубежом – весовой. Под концентрацией водной щелочесиликатной системы (жидкого стекла) обычно понимается суммарное содержание главных оксидов SiO₂ и M₂O, выраженное в массовых долях или массовых процентах.

Содержание основных оксидов в промышленно выпускаемых натриевых жидких стеклах ориентировочно находится в пределах: SiO₂ – 30-33, Na₂O – 10-13 мас%. Содержание примесных оксидов Al₂O₃+Fe₂O₃ не превышает 0,25-0,4, CaO – 0,2-0,25 мас%.

Плотность и вязкость зависят от состава жидкого стекла. Помимо этого вязкость в сильной степени зависит от температуры раствора, наличия примесей, способа образования, возраста и других второстепенных факторов.

С увеличением концентрации раствора вязкость возрастает не линейно (рисунок 1). При достижении определенных значений концентрации раствор становится настолько вязким, что его применение становится затруднительным. Для жидких стекол с модулем около трёх, пороговое значение концентрации составляет порядка 40-45 мас% (10 мас% Na₂O).

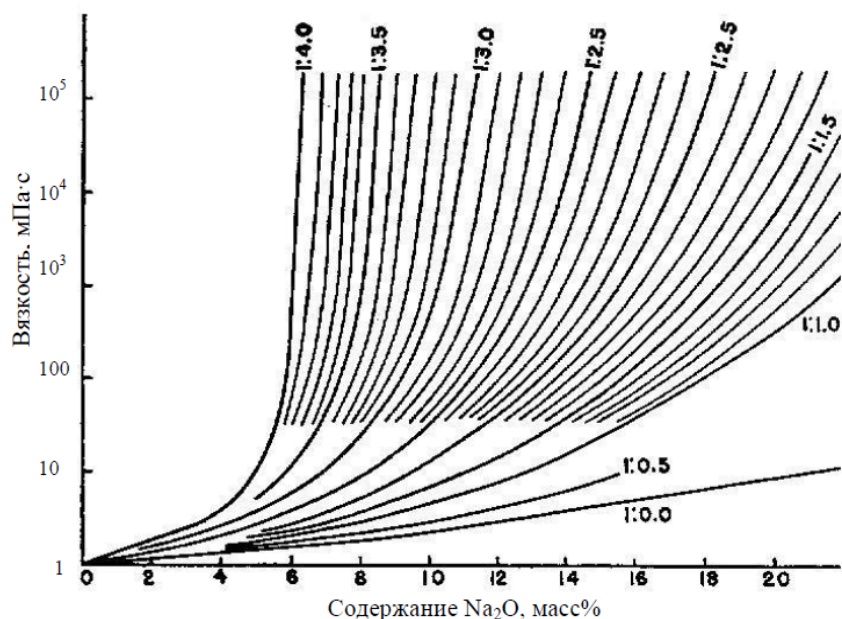


Рис. 1. Вязкость растворов силикатов натрия в зависимости от модуля и концентрации при 20°C [1]

В технической документации часто вместо концентрации фигурирует плотность, которая является функцией концентрации, силикатного модуля и вида катиона. На практике измерить плотность раствора с достаточной точностью оказывается быстрее и проще, чем определить его концентрацию. Зная силикатный модуль и плотность, с помощью специальных номограмм и формул можно вычислить концентрацию и наоборот. Обычно плотность промышленных жидких стёкол находится в пределах 1,3-1,5 г/см³.

Литература.

1. Брыков А.С. Силикатные растворы и их применение: учебное пособие. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009. – 54 с.
2. В.И. Корнеев, В.В. Данилов. Жидкое и растворимое стекло. – СПб.: Стройиздат СПб, 1996. – 216 с.
3. Крюковский Н.Н. Производство электродов для дуговой сварки. – Москва: Машиностроение, 1956. – 278 с.

ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Д.В. Медведев, студент

Институт металлургии и химической технологии имени С.Б. Леонова

Иркутский государственный технический университет

664074, Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 83е

E-mail: dima93medvedev@mail.ru

Источником большого количества сточных вод являются предприятия агропромышленного комплекса, пищевой промышленности, гальванические производства и нефтегазовый комплекс.

Применяемые способы очистки определяются количественным и качественным составом сточных вод, который зависит не только от промышленности, но и от используемых технологических процессов [1].

Нефтепродукты являются одними из наиболее распространенных антропогенных загрязнителей поверхностных водоемов и водотоков, а в некоторых регионах также и подземных источников питьевого водоснабжения. Они попадают в окружающую среду в результате техногенных аварий, сброса неочищенных и недостаточно очищенных нефтесодержащих сточных вод, и в значительном количестве вследствие неорганизованного отвода ливневого и талого стоков с территорий, загрязненных различными нефтепродуктами и маслами [2].

Нефть и нефтепродукты, по данным Юнеско, относятся к числу самых распространенных и опасных загрязнителей окружающей среды. Для эффективной очистки нефтесодержащих сточных вод используются многостадийные процессы [3]:

- механическая очистка хозяйственно фекальных сточных вод;
- нейтрализация промышленных сточных вод;
- адсорбционная очистка промышленных сточных вод;
- механическая очистка промышленных сточных вод;
- смешение механически очищенных хозяйственно фекальных и промышленных стоков;
- биологическая очистка;
- обеззараживание сточных вод [4].

Нефтепродукты содержатся в производственных сточных водах подавляющего числа предприятий промышленности, транспорта и сферы услуг, поверхностном стоке с территорий этих предприятий, а также отработанных технологических растворах различного назначения – смазочно-охлаждающих жидкостях, моечных и обезжиривающих растворах и тому подобных эмульсиях производственного назначения.

Нефтесодержащие стоки практически всегда одновременно с нефтепродуктами содержат также механические частицы, поверхностно-активные вещества, органические соединения и тяжелые металлы [2].

Механические методы очистки сточных вод применяются для выделения нерастворенных примесей [5].

Для обеспечения более глубокой степени очистки воду очищают способом фильтрования через различные загрузки из природных и синтетических материалов, обрабатывают коагулянтами и флокулянтами.

На сегодняшний день широко распространены фильтры с загрузкой из песка, керамзита, пенополиуретана, пенополистирола, сипрона, древесной стружки, дробленый антрацит, сульфуголь, катионит КУ-2, целлюлоза, перлит, вулканические шлаки, горелые породы, шунгизит; проводятся исследования новых фильтрующих материалов, которые отличались бы большей грязеемкостью, обладали невысоким темпом прироста потерь напора при загрязнении и относительно простой регенерацией. Значимость применения фильтрующих полимерных материалов обуславливается значительным поступлением на фильтры содержащихся в поверхностном стоке нефтепродуктов. В качестве таких фильтрующих материалов все большее распространение получают полимерные высокопористые полистирол и пенополиуретан. Применение синтетических материалов, обладающих высокой сорбционной емкостью, пористость которых достигает 95 %, позволяет существенно повысить скорость фильтрования, увеличить продолжительность фильтроцикла и осуществлять процесс очистки с меньшими затратами по сравнению с обычными зернистыми фильтрами.

В течение многих десятилетий в процессе глубокой очистки нефтесодержащих сточных вод традиционно используются активированные угли. Однако дороговизна и дефицитность активированных углей ограничивает их применение в водоочистке [3].

Использование высокоактивных микробных культур биопрепаратов позволяет максимально быстро разрушать нефтяные загрязнения в результате активизации процессов естественного круговорота органических веществ. Действие биопрепарата определяется свойствами лежащих в его основе селекционированных микроорганизмов.

Широкий спектр областей применения биопрепаратов определяется многообразием микроорганизмов и их свойств. С каждым годом биотехнология завоевывает все новые и новые сферы деятельности, распространяясь по всему миру и вытесняя привычные методы решения тех или иных проблем. Основным свойством биопрепаратов является их экологическая безопасность, что главным образом определяет их преимущество и перспективность использования.

Использование биопрепаратов на водоочистных сооружениях направлено на создание, восстановление и улучшение свойств активного ила. Жизнеспособные микроорганизмы препаратов образуют стабильный высокоактивный микробиоценоз, способный быстро утилизировать загрязнения сточных вод. Технология биорекультивации основана на стимуляции всех природных факторов восстановления нарушенных земель, в результате которой проходят сложные химические и биохимические процессы разложения углеводородов нефти до экологически безвредных веществ углекислого газа и воды с образованием биогумуса [6].

Повышенное содержание нефтепродуктов в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, может привести к ослаблению деятельности микроорганизмов, что крайне негативно отразится на составе воды, направляющейся далее в поверхностный водоем [4].

Физические и химические методы применяются для очистки сточных вод, содержащих тяжелые металлы, сложные органические соединения, биологическая очистка которых малоэффективна. Многие физико-химические и химические методы (адсорбция, химическая реакция, фильтрация, ионообмен, обратный осмос, электродиализ) нашли применение при очистке сточных вод. Самую высокую степень доочистки сточных вод обеспечивает адсорбционный метод.

Адсорбция широко применяется для удаления из сточных вод органических веществ, трудно поддающихся бактериальной атаке. Активированный уголь является наиболее распространенным промышленным адсорбентом [5].

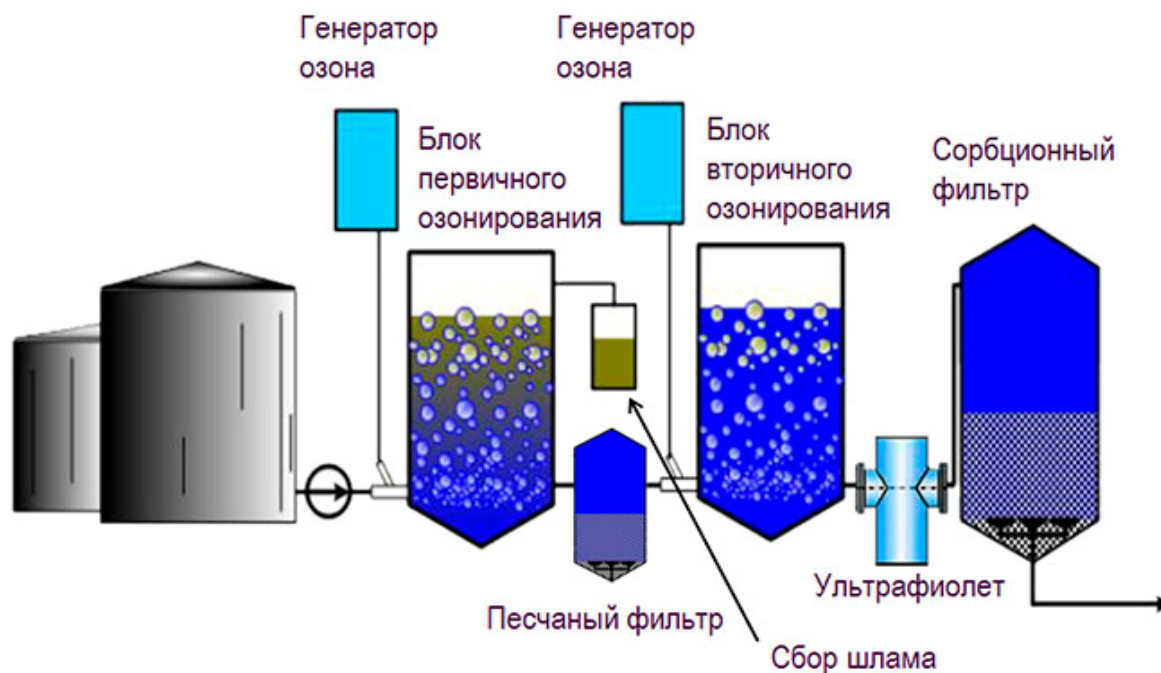


Рис. 1. Принципиальная схема очистки нефтесодержащих сточных вод под озонем

В последнее время большую популярность набирает очистка нефтесодержащих сточных вод под озонем. Принципиальная схема очистки под озонем показана на рис. 1

Литература.

1. Смирнов А.Н. Новая технология очистки промышленных сточных вод от нефтепродуктов / А.Н. Смирнов и др. // Экология и промышленность России – М., апрель 2008.
2. Анапольский В.Н. Очистка нефтесодержащих сточных вод / В.Н. Анапольский и др. // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. - Заречье: Изд-во «Медиа технолоджи», январь 2011.
3. Гимазутдинова Р.Р. Технология очистки нефтесодержащих сточных вод / Р.Р. Гимазутдинова, А.Р. Ибрагимова, Р.Р. Ибрагимов // Технические науки – от теории к практике №19 – Новосибирск: Изд-во НП «СибАК», 2013.
4. Асфандиярова Л.Р. Очистка нефтесодержащих сточных вод / Л.Р. Асфандиярова и др. // Башкирский химический журнал Т.18 №2 – Уфа: Изд-во: ООО "Научно-исследовательский институт истории науки и техники", 2011.
5. Медведев Д.В. Очистка сточных вод / Д.В. Медведев // Научные исследования современности: сборник научных трудов. Т. 7. – Катовице: изд-во «Diamond trading tour», 2013. – с 80-82.
6. Привалова Н.М. Биологическая очистка промышленных нефтезагрязненных сточных вод / Н.М. Привалова и др. // Успехи современного общества – Пенза: Изд-во «Академия Естествознания», 2009.

МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАРКОВ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

*А.В. Мочалов, начальник учебной части, Р.С. Федюк, преподаватель
Учебный военный центр Дальневосточного федерального университета
690090 г. Владивосток, ул. Суханова, 8
E-mail: gera210307@yandex.ru*

В процессе эксплуатации здания происходит разрушение материалов наружных слоев ограждений под действием различных внешних факторов. Скорость и характер разрушения при определенных климатических воздействиях зависят не только от долговечности наружного отделочного слоя и стойкости стенового материала, но и от сочетания их свойств, влияющих на влажностное состояние конструкции.

Согласно классической Энциклопедии полимеров [1], в процессе эксплуатации происходит «деструкция полимеров – разрушение макромолекул под действием тепла, кислорода, света, проникающей радиации, механических напряжений, биологических и других факторов. В результате деструкции уменьшается молекулярная масса полимера, изменяются его строение, физические и механические свойства, полимер становится непригодным для практического использования».

Таким образом, на воздухе при обычных температурах происходит обязательное изменение химического строения полимеров под воздействием кислорода воздуха, называемое окислительной деструкцией [2].

Наиболее важным и сильно действующим разрушающим фактором является действие воды, замерзающей в порах материала, в особенности на границе между отделочным и стеновым материалами.

В настоящее время оценка долговечности элементов (ограждающих конструкций) стен производится на основе исследования их морозостойкости. В то же время, официально утвержденной методики определения долговечности пенополистирола и ограждающих конструкций с его применением не существует.

Обширный обзор научных исследований по морозостойкости строительных материалов представлен в работах [3-8]. Однако трактовка этих данных с точки зрения морозостойкости во многом зависит от условий самих испытаний. Обычно при проведении опытов изделия замораживаются с одной (одностороннее замораживание) или со всех сторон (объемное замораживание). Стандартный метод определения морозостойкости, основанный на прямом объемном (всестороннем) замораживании водонасыщенных образцов в холодильной камере с последующим их оттаиванием в воде в последнее время стал объектом критики ученых многих стран [3-8].

Несоответствие условий лабораторных испытаний пористого водонасыщенного материала натурным влечет за собой несоответствие и тех процессов, которые происходят во время объемного и всестороннего замораживания строительных материалов [3, 7-8]. Наблюдается явное отличие морозостойкости идентичного строительного материала, подвергаемого объемному замораживанию, и испытываемого в условиях, близких к эксплуатационным (путем одностороннего замораживания) [8-9] или в натуре. Это можно объяснить распространением упрощенных воззрений, т.е. признанием, что главной и единственной причиной разрушения пористого материала является увеличение объема воды (примерно на 10%) при переходе ее в лед. Движение воды и льда вследствие расширения считается возможным только локально, т.е. ближайшим от воды («резервным») порам и капиллярам. Такая концепция не отражает действительного механизма разрушения материала в эксплуатационных условиях. Поэтому особо ценным следует считать выдвигание в 1952-1953 годах Ф.В. Ушковым принципа одностороннего замораживания в качестве основной методики испытания на морозостойкость стеновых материалов. Эта методика впервые была применена при исследовании долговечности отделочных слоев, располагаемых на пеносиликате.

В основу данного метода положено испытание элемента внешней части стены с наружным облицовочным слоем в условиях, приближающихся к эксплуатационным. Испытание проводится только в воздушной среде, причем со стороны наружной поверхности образец подвергается попеременно воздействию отрицательных и положительных температур, а со стороны внутренней поверхности – постоянному воздействию положительных температур.

Позднее А.А. Фединым, Е.М. Чернышовым, В.Т. Леденевым, А.Т. Барановым, Т.А. Уховым, Л.А. Ивановой проведены более детальные исследования различных бетонов.

Для исследования морозостойкости лицевого кирпича новый принцип испытания предложен и применен А.С. Садунасом, Р.А. Шяучюлисом и О.А. Черновой. Мнения указанных авторов по поводу принципиально нового способа испытания едины: одностороннее замораживание позволяет в зна-

чительной степени моделировать натурные условия службы стеновых строительных материалов. Прогрессивность данного принципа в отношении применения для исследования морозостойкости стеновых материалов доказаны и зарубежными учеными.

Глубокие экспериментально-теоретические исследования механизма разрушающего действия замораживающей влаги проведены В.М. Ильинским, который дал количественную оценку взаимосвязи между показателем морозостойкости, выражающимся через внешнюю энергию деструкции материала E , и показателями, характеризующими некоторые климатические факторы и свойства самого материала:

$$E \approx nA_t \omega_0,$$

где n – число переходов температуры через ноль в наружной части конструкции, A_t – величина безразмерной амплитуды колебаний температур, ω_0 – объемное влагосодержание стенового материала.

На основании долговременных фундаментальных исследований морозостойкости стеновых материалов проведенных отечественными учеными (А.С. Садунасом, Р.А. Шячюлисом, О.А. Черновой, В.М. Ильинским, А.Т. Барановым, Т.А. Уховым, Л.А. Ивановой) был разработан и стандартизирован (ГОСТ 7025-78), новый, более объективный метод определения морозостойкости при одностороннем замораживании. Более высокая объективность результатов испытаний на морозостойкость стеновых строительных материалов по данному методу достигается вследствие воспроизведения условий, близких к эксплуатационным, при которых стеновые изделия претерпевают попеременное одностороннее замораживание и оттаивание. Исследования по изучению морозостойкости ПСБ проводились Б.Н. Кауфманом. После 25 циклов замораживания/оттаивания по стандартной методике прочность ПСБ (плотностей 25,6 – 26,7 кг/м³) даже несколько увеличилась (коэффициент морозостойкости – 1,02 – 1,06). Для более высоких плотностей она снизилась – для плотности 94,5 кг/м³ коэффициент морозостойкости – 0,81. В то же время, Кауфман не исследовал столь же детально и ПСБ-С.

Немецкий производитель пенополистирола KNAUF Therm подтвердил долговечность своего материала в начале 2012 года: По результатам 200 циклов ускоренных испытаний, выполненных в лаборатории долговечности строительных материалов и герметизации ГУП «НИИМосстрой» в соответствии с методикой МИ 12.03-2003, прогнозируемый срок службы пенополистирольных плит KNAUF Therm® составил не менее 100 лет.

Методика испытаний позволила воссоздать самые нежелательные климатические условия для материала, который по ГОСТ должен применяться как средняя часть строительной конструкции, а следовательно, обычно не вступает во взаимодействие с окружающей средой, но даже несмотря на такие параметры исследований, основные физические характеристики KNAUF Therm® (прочность на сжатие при 10% деформации, прочность при изгибе, коэффициент теплопроводности и водопоглощение за 24 ч по объему) не продемонстрировали значительного ухудшения и остались в рамках действующего ГОСТ 15 588-86.

В то же время д-ры техн. наук Б.С. Баталин и Л.Д. Евсеев в статье призывают не принимать на веру рекламные заявления о долговечности пенополистирола: «... в средствах массовой информации идёт интенсивная реклама пенополистирола. Какими только прекрасными качествами различные фирмы и авторы не характеризуют пенополистирол: и высочайшие теплоизоляционные свойства, и пожаробезопасность, и долговечность такая, что можно не беспокоиться 50–70 лет (а в одной рекламе 120 лет), и экологическая безопасность, как будто пенополистирол выделяет в процессе эксплуатации чистейший кислород, и другие полезные компоненты. К сожалению, в научной литературе невозможно найти подтверждение большинству из указанных свойств».

В диссертации А.В. Ли отмечается отсутствие прямых методик прогнозирования долговечности и срока службы полимерных теплоизоляционных материалов. Кроме того, существующие методики для аналогичных материалов малоприменимы для оценки долговечности и совсем не пригодны для оценки срока службы пенополистирола.

В качестве основных недостатков А.В. Ли отмечает:

- сравнительный характер оценки;
- необходимость значительного периода времени для установления степени влияния естественных климатических факторов при натуральных испытаниях;
- игнорирование отдельных факторов круглогодичного цикла при ускоренных испытаниях;
- использование в качестве основного показателя для оценки долговечности материала его прочностных свойств, тогда как для теплоизоляционных материалов показательными являются их теплозащитные свойства;
- отсутствие учета конструктивных особенностей ограждения.

Как выше отмечалось, в большинстве методик в качестве контролируемого эксплуатационного параметра выбрана прочность материала. Однако, еще до достижения его предельного состояния по прочности (предела прочности) материал утеплителя может вследствие ряда причин перестать выполнять функцию эффективной теплозащиты, т.е. его теплофизические характеристики уже не будут отвечать требованиям нормативных документов.

Из этого следует, что оценивать ресурс материала только с позиций снижения контроля прочности недостаточно. Необходимо также контролировать изменение теплотехнических показателей материала, основным из которых является теплопроводность утеплителя.

Следовательно, для того, чтобы при наименьших временных затратах достоверно оценить эксплуатационный ресурс пенополистирола, необходимо, как минимум, два контролируемых параметра – прочность на сжатие и теплопроводность.

Кроме того, стандартная методика прогнозирования долговечности стеновых материалов, основанная на определении морозостойкости образцов в камерах замораживания и оттаивания их в воде не учитывает всего комплекса климатических воздействий и особенностей различных районов строительства.

Литература.

1. Энциклопедия полимеров. Т.1. А-К. М.: Советская энциклопедия. 1972.
2. Баталин Б.С., Евсеев Л.Д. Эксплуатационные свойства пенополистирола вызывают опасения // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений» [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <http://www.pamag.ru/pressa/expr-ropopol>
3. Брилинг Р.Е. Исследование морозостойкости строительных материалов в наружных ограждениях // Сб. ЦНИПС. – М.-Л., 1951. Вып. 4. Исследования по строительной физике, с. 60-84
4. Федин А.М., Чернышев Е.М., Леденев В.Г. Исследование влияния условий замораживания на стойкость газосиликата // Труды ПЛСМК. – Воронеж, 1956. Вып. 2. Исследования по цементным и силикатным бетонам, с. 192-213
5. Федин А.М., Чернышев Е.М. Оценка стойкости материалов ограждающих конструкций к действию влаги и мороза // Методы исследования стойкости строительных материалов и конструкций. – Минск: Высшая школа, 1969, с. 92-98
6. Баранов А.Т., Ухова Т.А., Иванова Л.А. Исследования стойкости ячеистых бетонов при одностороннем воздействии попеременных температур // Сб. докладов НИИЖБ. Апрелька, 1970. Технология строительных материалов и изделий, с. 13-19
7. Иванова Л.А. Сравнительная стойкость газобетона в условиях высокой влажности при одностороннем воздействии попеременных температур: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. 1970
8. Садунас А.С., Шяучюлис Р.А., Чернова О.А. Об оценке морозостойкости глиняного кирпича // Строительные материалы, 1974, № 4, с. 31-32
9. Ушков Ф.В. Долговечность наружных отделочных слоев при одностороннем воздействии отрицательных температур // Сборник «Сушка и увлажнение строительных материалов и конструкций». – М.: Профиздат, 1957.- с. 77-91
10. Liewellyn H.M., Butterworth V. Trans. Brit. Geram. Soc. Т. 63, № 2.11, 625-637 (1964)
11. Butterworth V. Trans. Brit. Geram. Soc. Т. 63, № 2.11, 203-223, 615-628 (1964)
12. Butterworth V., Baldween W. Trans. Brit. Geram. Soc. Т. 63, № 2.11, 647-661 (1964)

ГАЗОБЕТОН С ДОБАВКАМИ ШЛАМА СОЛЬЗАВОДА

Н.В. Легостаева, к.т.н., доц., Т.Ю. Нестерова, аспирант

Иркутский государственный технический университет

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

E-mail: htnv@istu.edu

Объем производства ячеистых газобетонов в России растёт [1-2]. Специалисты свидетельствуют о его высокой прочности и устойчивости к различным атмосферным и температурным воздействиям. Газобетон обладает отличными теплоизоляционными характеристиками что способствует снижению затрат на отопление, за счет поглощения и отдачи влаги ячеистый газобетон поддерживает постоянную влажность воздуха внутри помещения, огнестоек, хорошо пилится, сверлится.

На сегодняшний день становится актуальным исследование по применению отходов в производстве строительных материалов и изделий, которые могут заменить традиционные, дорогостоящее дефицитное сырьё.

На кафедре химической технологии неорганических веществ и материалов проводятся исследования по использованию шлама солязавода в производстве строительных материалов, в частности исследование влияния шлама на свойства керамики [3].

Отходами производства поваренной соли являются минеральные шламы в виде суспензий или гранул. Основными компонентами шлама являются карбонат кальция, хлорид натрия, гидроксид магния и сульфат натрия.

Образцы газобетона изготавливались из портландцемента, золы-уноса ТЭЦ, гипса и шлама солязавода. В качестве газообразователя использовали алюминиевую пудру.

Шлам высушивали при температуре 105–110 °С в сушильном шкафу, и добавляли в массу в количестве 10–50%.

Из сырьевых материалов готовили смесь, а из нее образцы – кубики размером 0,02*0,02*0,02 м. После предварительного выдерживания образцов, их пропаривали в пропарочной камере в течение 2 часов.

На 1, 3, 7, 14, 28 сутки определяли прочность при сжатии образцов и плотность.

Изменение прочности при сжатии и плотности образцов в зависимости от содержания шлама в массе и его обжига при температурах 500–900 °С представлены в табл. 1, 2. и на рис. 1, 2.

Таблица 1

Изменение прочности при сжатии образцов с добавкой необожжённого шлама от времени твердения и количества добавки

Время твердения, сутки	Прочность газобетона при сжатии, МПа					
	Содержание шлама, %					
	0	10	20	30	40	50
1	3,14	1,20	0,61	-	-	-
3	3,39	1,57	0,56	0,20	0,07	0,08
7	3,51	1,41	1,45	0,58	1,08	0,54
14	3,84	3,47	4,05	1,30	1,68	0,34
28	5,70	4,06	2,18	2,07	3,10	2,31

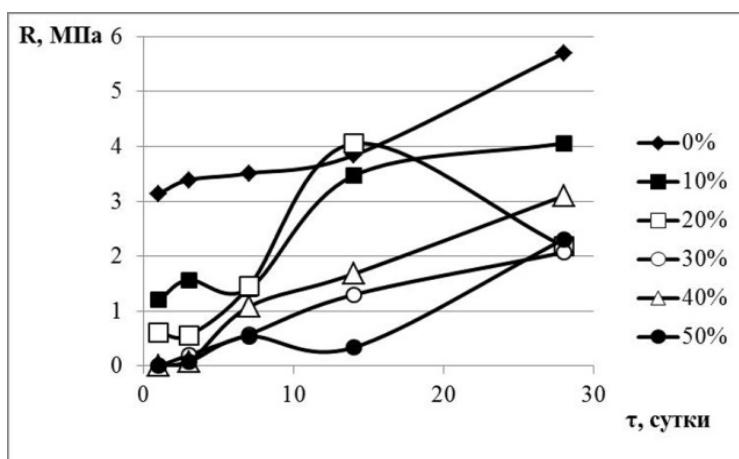


Рис. 1. График зависимости прочности при сжатии образцов от количества шлама

Графическая зависимость прочности при сжатии образцов с добавкой необожжённого шлама от времени твердения, имеет вид плавно возрастающих кривых.

Добавка шлама солязавода в количестве 10 % снижает прочность образцов примерно на 30 %. С увеличением количества шлама прочность образцов снижается.

Таблица 2

Изменение плотности образцов с добавкой необожжённого шлама
от времени твердения и количества добавки

Время твердения, сутки	Плотность газобетона, кг/см ³					
	Содержание шлама, %					
	0	10	20	30	40	50
1	1296,34	1310,1	1337,4	1261,78	1208,73	1037,59
3	1233,46	1131,45	1178,15	1193,38	1184,65	1045,05
7	1144,66	1152,14	1155,05	1175,05	1121,19	983,07
14	1196,18	1161,75	1161,75	1216,9	1147,82	958,97
28	1163,7	1193,66	1247,97	1167,97	1112,61	1008,96

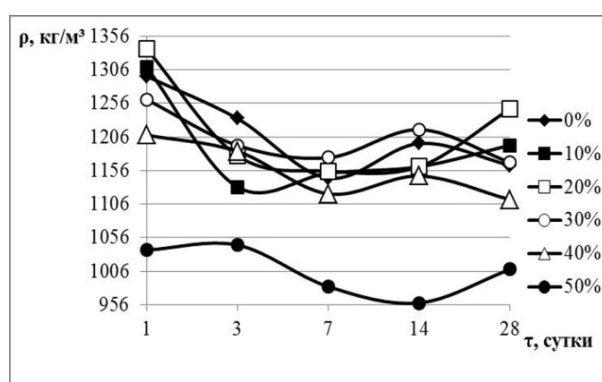


Рис. 2. График зависимости плотности образцов от количества шлама

Плотность газобетона с добавками шлама сользавода в количестве 10-40 % практически не вызывает изменение плотности. С введением шлама в количестве 50 % плотность понижается.

Проведенные исследования показали, что добавка высушенного шлама сользавода до 50 % существенно влияет на прочность при сжатии газобетона, в то же время влияние добавок шлама на плотность образцов незначительна.

Литература.

1. Левченко В.Н., Гринфельд Г.И. Производство автоклавного газобетона в России: перспективы развития подотрасли// Строительные материалы. 2011.№9. с. 44-47.
2. Вишневский А.А., Гринфельд Г.И., Куликова Н.О. Анализ рынка автоклавного газобетона России// Строительные материалы. 2013.№7. с. 40-44.
3. Нестерова Т.Ю., Легостаева Н.В., Иванская Е.А. Керамика с добавками отходов завода по производству поваренной соли // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): мат-лы III Всерос. науч. – техн. конф. с междунар. участием. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 360-363 с.

ОБЕССОЛИВАНИЕ МОНОМЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТА ВПК-402 МЕТОДОМ ЭКСТРАКЦИИ

Г.К. Гаецкулова, А.Н. Иванов, Г.Г. Тимербаев, студенты гр. БТС-12,

научный руководитель: Исламутдинова А.А., к.т.н., доц. кафедры «Общая химическая технология»
Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке
453118, Республика Башкортостан, г. Стерлитамак, пр. Октября, тел. 8(960)8052536

E-mail: sanekclubstr@mail.ru

В г. Стерлитамаке на первой производственной площадке ОАО «БСК» производят полиэлектrolит ВПК-402 (полидиаллилдиметиламмоний хлорид), который применяется в качестве флокулянта и коагулянта для интенсификации процессов очистки сточных вод в нефтеперерабатывающей промышленности.

Полидиметилдиаллиламмоний хлористый представляет собой высокомолекулярный катионный негорючий, малотоксичный и взрывобезопасный полимер. Он производится путем радикальной полимеризации диаллилдиметиламмонийхлорида.

Основным недостатком при получении мономера – диаллилдиметиламмонийхлорида (ДАДМАХ) является образование большого количества соли (хлорида натрия), что влияет на качество продукта.

Для решения этой проблемы нами предлагается обессоливание ДАДМАХ экстракционным методом. ДАДМАХ экстрагируем изоамиловым спиртом при соотношении раствор:изоамиловый спирт равным 4:1; 3:2; 1:1; 2:3; 1:4 соответственно, при этом общий объем составляет 100 мл. Экстракцию проводят путем интенсивного взбалтывания смеси раствора и экстрагента в делительной воронке. После отстаивания образовалось два слоя: органический и водный. Далее проводят обратную экстракцию ДАДМАХ из органического раствора дистиллированной водой. Для этого мы отбираем по 3 аликвоты из каждого образца объемом 4 мл. Затем в каждую первую аликвоту приливаем по 2 мл, в каждую вторую – по 4мл, в каждую третью – по 8 мл дистиллированной воды. Полученные смеси интенсивно встряхиваем. После появления четкого раздела фаз из каждого образца отбираем по 1 мл водного раствора, к которому добавляем 0,1 мл 1 %-го раствора дихромата калия. Полученные растворы разбавляем дистиллированной водой до объема 50 мл и оттитровываем децимолярным раствором нитрата серебра до появления красного окрашивания раствора. По методу Мора проводим «холостое» титрование для определения количества титранта, расходуемого при взаимодействии с дихроматом калия, используемого в качестве индикатора установившейся точки эквивалентности. При этом было получено значение 0,7 мл титранта, что соответствует ожидаемому результату. Полученная матрица результатов подвергалась обработке с целью расчета выхода ДАДМАХа, а также его процентного содержания в конечном растворе. Полученные данные представлены в таблицах (табл.1-3), согласно которым наиболее благоприятным для получения обессоленного ДАДМАХа является соотношение 4:1 и 2:1. Минеральные соли отсутствуют в конечном водном растворе, так как они нерастворимы в органических растворителях.

Таблица 1

Результаты эксперимента			
Соотношения	2:1	1:1	1:2
1:4	36,70	29,40	21,40
2:3	34,00	24,90	17,20
1:1	28,70	22,40	17,60
3:2	21,50	17,30	13,00
4:1	15,40	8,10	5,70
Поправка	– 0,7 мл		
Концентрация ДАДМАХ	55,00 %		

В таблице 2 приведены расчетные концентрации ДАДМАХ:

Таблица 2

Результаты расчетов			
Соотношения	2:1	1:1	1:2
1:4	0,58	0,46	0,33
2:3	0,54	0,39	0,27
1:1	0,45	0,35	0,27
3:2	0,34	0,27	0,20
4:1	0,24	0,12	0,08

В таблице 3 приведены доли ДАДМАХ, перешедшие в готовый раствор после второй стадии экстракции водным слоем.

Таблица 3

Соотношения	Результаты расчетов		
	2:1	1:1	1:2
1:4	0,15	0,23	0,25
2:3	0,36	0,52	0,53
1:1	0,45	0,70	0,82
3:2	0,50	0,80	0,89
4:1	0,95	0,96	0,97

Таким образом, предложенный нами способ является технологически простым, малозатратным и эффективным, и конкурентоспособным по показателям качества.

Литература.

1. Технологический регламент по производству катионного водорастворимого полиэлектrolита (полидиметилдиаллиламмоний хлорида) цеха № 15, 2008.
2. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Количественный анализ. Изд. «Химия», М., 1971 г. 456 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ ТИТАНА И НИКЕЛЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ НЕДЕФОРМИРУЕМОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ

Р.Г. Хазгалиев, м.н.с., А.Р. Халиков, к.ф.-м.н., С.В. Дмитриев, зав. лаб., д.ф.-м.н.,

*Институт проблем сверхпластичности металлов РАН
450001, г. Уфа, ул. Ст. Халтурина, 39, тел. (347) 282 38 14
Email: sloth.usatu@gmail.com, khalikov.albert.r@gmail.com*

Твердофазное соединение титанового сплава с нержавеющей сталью сопровождается образованием хрупких интерметаллидных фаз на основе Fe – Cr – Ti и Fe – Ti и возникновением остаточных напряжений из-за несоответствия коэффициентов термического расширения соединяемых материалов. Существует множество методов преодоления проблемы образования вредных соединений в зоне контакта свариваемой пары [1]. Одним из способов преодоления этой проблемы является использование никелевой прокладки [2]. В ряде экспериментальных работ изучено влияние внешних параметров (температуры и давления) на качество соединения титанового сплава и нержавеющей стали с использованием никелевой прослойки [4-6].

Процесс сварки давлением является трудоемким и затратным, поэтому некоторые качественные особенности процесса сварки разнородных материалов могут быть изучены методами атомистического моделирования. В данной работе делается попытка описания методом Монте-Карло процесса диффузии на контактной границе двух металлов в рамках упрощенной двумерной модели кристалла. Для ускорения расчетов предполагается, что атомы различных сортов имеют одинаковый размер и не учитываются эффекты атомной релаксации, иными словами, принимается модель жесткой кристаллической решетки [7-9]. Взаимодействие между атомами описывается парными межатомными потенциалами с учетом дальнего действия, включающего две первые координационные сферы. Несмотря на свою простоту, данная модель позволяет описать исследуемый процесс на качественном уровне и облегчает обработку и визуализацию результатов моделирования.

Методика эксперимента

Процесс соединения под давлением проводили при температуре 650, 700 и 750°C и одинаковым времени выдержки. Соединение осуществляли сваркой давлением (4 МПа) (осадкой установленной по схеме на рисунке 1 заготовок) в вакууме 2×10^{-3} Па на установке «АЛА-ТОО (тип ИМАШ 20-78)». Время соединения 20 мин. Размеры исходных заготовок титанового сплава и нержавеющей стали 4x4x16 мм. Используем никелевую прослойку толщиной 0,3 мм.

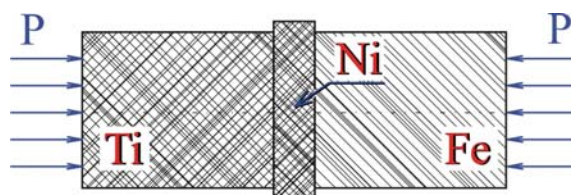


Рис. 1. Схема проведения соединения давлением

Полученные образцы шлифовали и полировали алмазной суспензией (рис. 6(a)) с размером абразива 1 мкм. Затем проводили исследование на оптическом микроскопе OlympusGX51 и растровом электронном микроскопе TescanVega с приставкой для энергодисперсионного анализа OxfordInstruments X-act.

Постановка задачи моделирования

Ставится следующая задача:

Построение концентрационных кривых поперек контактной границе соединения двух металлов.

Заданы:

- температура;

- два свариваемых металла, образующих сплав (область контакта) состава A_nB_m в ходе упорядочения. Один металл содержит атомы сорта A , другой B ;

- тип решетки. В данной работе изучается сплав на основе квадратной решетки;

- число координационных сфер межатомного взаимодействия, I . В данной работе $I=2$.

Общие соотношения и описание механизма диффузии

Пусть атомы сортов A и B располагаются в узлах решетки, у которой на i -й координационной сфере имеется N_i атомов. Концентрации атомов сортов A и B равны, соответственно

$$c_A = \frac{n}{n+m}, \quad c_B = \frac{m}{n+m}.$$

Через $p_{AB}^{(i)}$ обозначим вероятность того, что на i -й координационной сфере атома сорта A находится атом сорта B . В бинарной структуре A_nB_m существуют следующие связи между вероятностями $p_{AA}^{(i)}$, $p_{BB}^{(i)}$, $p_{AB}^{(i)}$ и $p_{BA}^{(i)}$: $p_{AA}^{(i)} + p_{AB}^{(i)} = 1$, $p_{BA}^{(i)} + p_{BB}^{(i)} = 1$, $c_A(p_{AA}^{(i)} - c_A) = c_B(p_{BB}^{(i)} - c_B)$.

Обозначим через $\varphi_{AB}^{(i)}$ энергию связи пары атомов сортов A и B , расположенных на расстоянии, равном радиусу i -й координационной сферы.

Потенциальная энергия структуры в расчете на один атом, при учете взаимодействия атомов в I первых координационных сферах, запишется в виде

$$E = \sum_{i=1}^I \frac{N_i}{2} \left(c_A p_{AA}^{(i)} \varphi_{AA}^{(i)} + c_A p_{AB}^{(i)} \varphi_{AB}^{(i)} + c_B p_{BA}^{(i)} \varphi_{AB}^{(i)} + c_B p_{BB}^{(i)} \varphi_{BB}^{(i)} \right). \quad (1)$$

Энергия полностью разупорядоченного состояния структуры определяется выражением (1) для $p_{AA}^{(i)} = p_{BA}^{(i)} = c_A$, $p_{BB}^{(i)} = p_{AB}^{(i)} = c_B$, что дает

$$E_{disord} = \sum_{i=1}^I \frac{N_i}{2} \left(c_A^2 \varphi_{AA}^{(i)} + c_B^2 \varphi_{BB}^{(i)} + 2c_A c_B \varphi_{AB}^{(i)} \right). \quad (2)$$

Выберем энергию E_{disord} в качестве точки отсчета, и будем характеризовать энергию любой структуры разностью

$$\Delta E = E - E_{disord} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^I N_i \alpha_i \omega_i \quad (3)$$

где введены параметры ближнего порядка $\alpha_i = c_A(p_{AA}^{(i)} - c_A)$ и энергии упорядочения $\omega_i = \varphi_{AA}^{(i)} + \varphi_{BB}^{(i)} - 2\varphi_{AB}^{(i)}$.

Как видим из (3), энергия рассматриваемой структуры однозначно определяется координационными числами N_i , энергиями упорядочения $\omega^{(i)}$, а также параметрами α_i , которые, по сути, являются параметрами ближнего порядка Каули.

Пусть атомы сплава располагаются в узлах решетки, у которой на i -й координационной сфере имеется N_i атомов. Числа N_i также называют координационными числами. Принимается, что диффузия в сплаве осуществляется по вакансионному механизму. Элементарным актом диффузии считается переход одного из атомов, окружающих вакансию, на её место. Предполагается, что любой атом из первых K координационных сфер имеет возможность занять место вакансии, и число таких

атомов равно $M = \sum_{k=1}^K N_k$, где N_k - координационные числа. Каждому из M атомов приписывается вероятность p_m занять место вакансии в элементарном акте диффузии, так, что $\sum_{m=1}^M p_m = 1$. С этой целью вычисляется изменение энергии сплава ΔE_m , связанное с переходом атома на вакантное место и, для заданной температуры сплава T , вероятности определяются следующим образом

$$p_m = \frac{P_m}{\sum_{m=1}^M P_m} \quad (4)$$

где

$$P_m = \exp\left(-\frac{\Delta U_m}{kT}\right) \quad (5)$$

и $k = 8,617\ 3324(78) \cdot 10^{-5} \text{ эВ} \cdot \text{K}^{-1}$ - постоянная Больцмана.

Описание алгоритма учета локальной концентрации

В предлагаемой модели на каждом элементарном шаге диффузии (единичный скачок вакансии) производился перерасчет энергий парных связей с корректировкой на рассчитанную локальную концентрацию (6). Данный расчет связан с особенностями фазовой диаграммы состояния, которая дает геометрический образ упорядоченных фаз, отражает характер их образования и особенности фазовых равновесий в области фазы. Соответственно в зоне контакта, в зависимости от концентрации элементов, будут образовываться различные фазы, в том числе и В2-фазы на основе Ti [10-12].

Пусть энергия связи между атомами A и B меняется по линейному закону в зависимости от локальной концентрации c_B [8-9]:

$$\varphi_{AB}^{(1,2)} = k - b \cdot c_B \quad (6)$$

где $\varphi_{AB}^{(1,2)}$ – энергия парных взаимодействий между сортами атомов A и B на первой и второй координационной сфере, k и b – коэффициенты уравнения (6), изученные значения которых представлены в таблице 1.

Результаты моделирования

Рассмотрим первый вариант, когда диффузия осуществляется без учета локального изменения энергий парных потенциалов на обеих координационных сферах и не зависят от концентрации, и присвоим им значения $\varphi_{AA}^{(1)}=0,09$, $\varphi_{AA}^{(2)}=0,03$, $\varphi_{BB}^{(1)}=0,07$, $\varphi_{BB}^{(2)}=0,03$, $\varphi_{AB}^{(1)}=\varphi_{AB}^{(2)}=0,08$. Эти параметры назначали исходя из диаграммы состояния титан (A) – никель (B). Естественно считать, что у металла с большей температурой плавления энергия связи атомов выше. У второй координационной сферы силы взаимодействия между атомами уменьшится до 0,03.

В процессе численного моделирования определено влияние условного времени (количество циклов скачков вакансии) диффузии, а также влияние температуры. Результат процесса упорядочения представлен на рис.2. Анализируя рис. 2 (а, б), можно сделать следующие выводы: при повышении количества циклов на границе А – В ширина диффузионного слоя увеличивается. К аналогичному результату приводит увеличение температуры процесса (рис. 2 б, в). На рис. 3 показано изменение концентрации атомов по плоскостям, параллельным поверхности соединения. Образуется «крест» равномерного распределения элементов в зависимости от расстояния до границы.

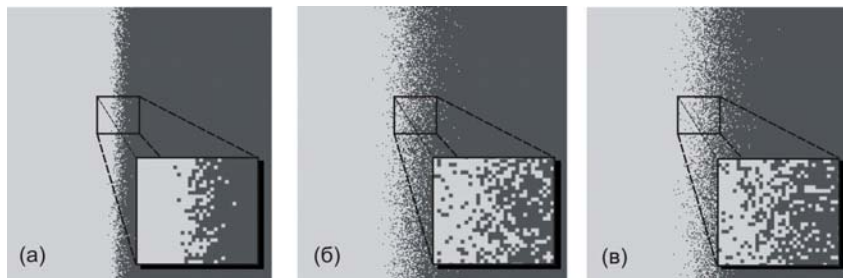


Рис. 2. Результат численного моделирования двумерных структур при температуре 650 °С (а-б) и 750 °С (в). (а) – $5 \cdot 10^6$ циклов, (б) – $45 \cdot 10^6$ циклов и (в) – $45 \cdot 10^6$. (Светлые атомы – Ni, темные – Ti)

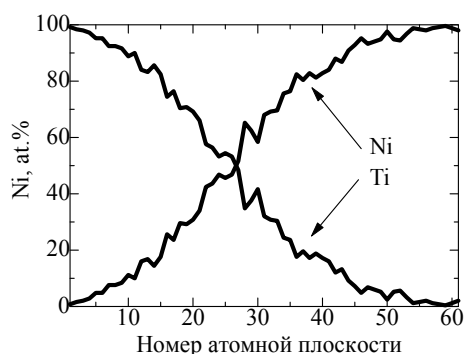


Рис. 3. Концентрация элементов расчетной модели при постоянных значениях энергий парных взаимодействий в зависимости от концентрации при 750 °C

Результат численного моделирования при постоянных значениях энергий парных взаимодействий показало практически одинаковую диффузионную активность элементов с равномерным выравниванием состава на границе зоны соединения, сопровождающимся перераспределением элементов и образованием сплава состава *AB*.

Рассмотрим второй вариант. Как и ранее (первый случай) будем использовать энергии связи между атомами одного сорта $\varphi_{AA}^{(1)}=0,09$, $\varphi_{AA}^{(2)}=0,03$, $\varphi_{BB}^{(1)}=0,07$, $\varphi_{BB}^{(2)}=0,03$. А энергии разноименных атомов $\varphi_{AB}^{(1,2)}$ меняются согласно уравнению 6 и коэффициентам Таблицы – 1.

Ввод зависимости параметра межатомного взаимодействия от концентрации окружающих атомов изменил картину перемещения атомов разных сортов. На концентрационных кривых (рис. 4) обнаруживается образование резких скачков. Так, кривая со стороны элемента В имеет плавный подъем. Повышение температуры увеличивает ширину зоны диффузии. Площадка в зоне образования интерметаллидов становится шире с увеличением числа циклов.

Результат процесса упорядочения представлен на рис. 5. Как видим, на границе элементов А и В идет образование упорядоченной структуры. Это упорядочение соответствует зоне с одинаковым составом. Образование упорядоченной структуры происходит в области, где концентрация элемента А более 45 %.

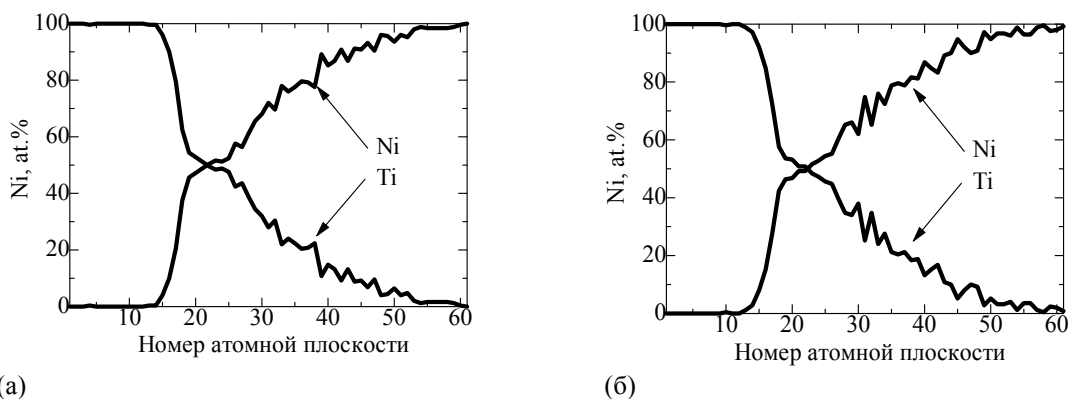


Рис. 4. Концентрация элементов расчетной модели с учетом влияния локальной концентрации на энергии межатомных взаимодействий. (а) – 650, (б) – 750 °C

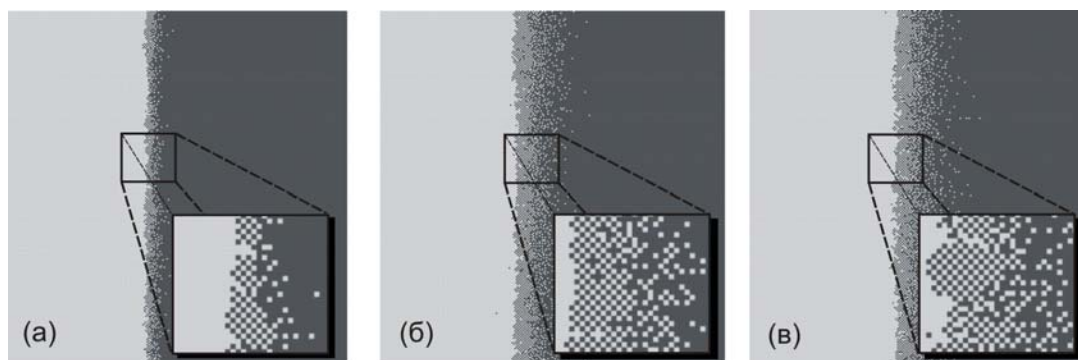


Рис. 5. Результат численного моделирования двумерных структур с учетом влияния локальной концентрации на энергии межатомных взаимодействий: температура 650 °С, (а) – $5 \cdot 10^6$ циклов, (б) – $45 \cdot 10^6$ циклов и (в) – $45 \cdot 10^6$ при температуре 750 °С. (Светлые атомы – Ni, темные – Ti)

Таблица 1

Коэффициенты линейной зависимости (б) энергий парных связей $\varphi_{AB}^{(1,2)}$ от локальной концентрации атомов сорта B

C_B	k	b
0...35	0,1	0,001
35...50	0,1	0,0017
50...100	0,03	0,0002

Реальное твердофазное соединение получено при исследуемых температурах 650, 700 и 750 °С. На граничной области идет образование интерметаллидных слоев. На рисунке 6 (а) показана микроструктура и изменение состава в зоне соединения для образца (рис. 6 (б)), сваренного при 750 °С

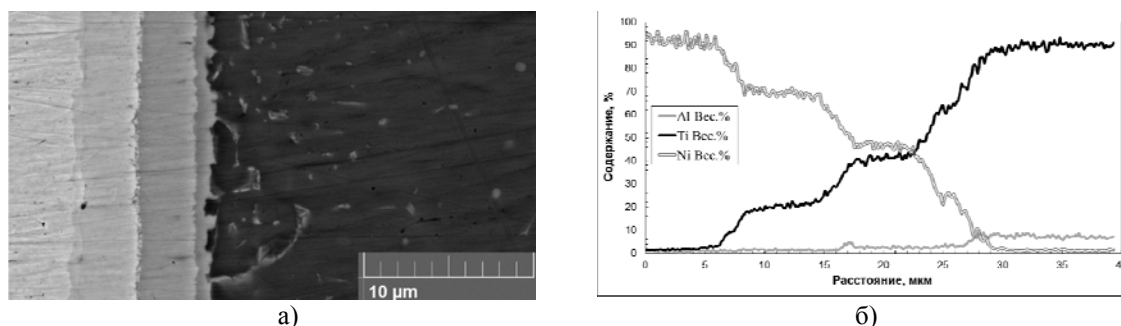


Рис. 6. Соединение титановый сплав / никель при 750°С в течение 20 минут.

(а) – микроструктура зоны соединения титановый сплав/никель,

(б) – изменение состава зоны соединения

На границе двух металлов никель – титановый сплав образуются слои интерметаллидов: Ti_2Ni , $TiNi$ и $TiNi_3$. Каждый интерметаллидный слой выделен видимой межфазной границей. На концентрационной кривой (рис. 6(б)) этим интерметаллидам соответствуют площадки неизменного содержания элемента, между площадками скачки изменения концентрации.

Обсуждение результатов и выводы

На основе компьютерного моделирования описаны концентрационные кривые на контактной границе двух металлов в рамках упрощенной двумерной модели кристалла при различных энергиях упорядочения. Согласно вводимым параметрам стало возможным моделирование концентрационных кривых с учетом влияния локальной концентрации на энергии межатомных взаимодействий.

При рассмотрении первого варианта, когда диффузия осуществляется без учета локального изменения энергий парных потенциалов, получены концентрационные кривые (рис. 3), а также структуры на контактной границе двух металлов при 650 и 750 °С (рис. 2). Сопоставив полученные концентрационные кривые с данными эксперимента (рис. 6(б)), оказалось, что они не соответствуют

друг другу. При этом структуры при длительном контакте двух металлов (рис. 2) могут образовывать механическую смесь, а на рисунке 6(а) она не наблюдается.

При рассмотрении второго варианта, когда диффузия осуществляется с учетом локального изменения энергий парных потенциалов (6), получены концентрационные кривые (рис. 4), а также структуры на контактной границе двух металлов при 650 и 700 °С (рис. 5). Сравнивая полученные концентрационные кривые с данными эксперимента (рис. 6(б)), можно сделать вывод о том, что учет локального изменения энергий парных потенциалов играет важную роль в образовании фаз на контактной границе двух металлов. Становится возможным построение более реалистичных концентрационных кривых. Структуры, полученные на контактной границе двух металлов (рис. 5), подобны экспериментальной микроструктуре (рис. 6(б)) зоны соединения титановый сплав/никель. При этом в области контактной границы образуется интерметаллидный слой (шахматная структура), который препятствует диффузии элементов и ограничивает ширину зоны диффузии.

Таким образом, учитывая локальное изменение энергий парных потенциалов, становится возможным моделирование процесса сварки различных элементов. В данной работе рассматривался сплав на контактной границе двух металлов в рамках упрощенной двумерной модели кристалла на квадратной решетке. Однако предложенная модель может быть использована для моделирования рассмотренных процессов и на трехмерных решетках.

Литература.

1. Люшинский А.В. Диффузионная сварка разнородных материалов: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Академия, 2006 г., 208 с.
2. Хазгалиев Р.Г., Мухаметрахимов М.Х., Мулюков Р.Р., Лутфуллин Р.Я. «Твердофазное соединение титанового сплава с нержавеющей сталью через наноструктурированную прослойку из никелевого сплава», Перспективные материалы, 2011, с. 529.
3. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением. – М. Машиностроение, 1986 г. 280 с..
4. Gleiter H. Nanocrystalline materials // Progr. Mater.Sci. 1989.Vol. 33. P. 223-315.
5. Bokstein B.S., Bröse H.D., Trusov L.I., Khvostantseva T.P. Diffusion in nanocrystalline nickel // Nanostr. Mater. 1995 6, 873.
6. Лариков Л. Н. Диффузионные процессы в нанокристаллических материалах // Металлофизика и новейшие технологии, 1995, т.17, №1, с. 3-29.
7. Халиков, А.Р. Моделирование кинетики упорядочения бинарного сплава по вакансионному механизму диффузии в модели твердых сфер / А.Р. Халиков, А.М. Искандаров // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – № 12. – С. 87-93.
8. Халиков, А.Р. Моделирование термических кривых охлаждения в процессе упорядочения сплавов стехиометрии AB , A_3B и A_3B_5 в приближении жесткой кристаллической решетки. / А.Р. Халиков, С.В. Дмитриев, А.И. Потекаев // Письма о материалах. – 2013. – Т.3 – С. 225-229.
9. Халиков, А.Р. Влияние состава на энергии бинарных сплавов в разупорядоченном состоянии и после отжига / А.Р. Халиков, А.М. Искандаров, С.В. Дмитриев // Ползуновский вестник. – 2012. – Вып. 1-1, – С. 301-304.
10. Physical metallurgy of Ti–Ni-based shape memory alloys // K. Otsuka, X. Ren // Progress in Materials Science, vol. 50, 2005, pp. 511–678.
11. Матвеева, Н.М. Упорядоченные фазы в металлических системах / Н.М. Матвеева, Э.В. Козлов – Москва: Изд-во «Наука», –1989. – 247 с.
12. Потекаев, А.И. Слабоустойчивые предпереходные структуры в никелиде титана / А.И. Потекаев, А.А. Клопотов, Э.В. Козлов, В.В. Кулагина –Томск: Изд-во «НТЛ» под общ. ред. А.И. Потекаева, – 2004. – 296 с.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ НА СВОБОДНУЮ ЭНЕРГИЮ

М.Г. Киселев, д.т.н., проф., А.К. Тявловский, к.т.н., доц., С.Г. Монич, м.т.н., аспирант

Белорусский национальный технический университет

220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65, тел.: +375298564205

E-mail: kayak88@yandex.ru

Одним из условий эффективного протекания процесса интеграции имплантата в организме человека является обеспечение оптимальных параметров микрорельефа его поверхности [1]. В настоящее время эта задача технологически решается, как правило, за счет модификации поверхности металлического имплантата путем ее пескоструйной или дробеструйной обработки.

Однако, эти способы механической обработки, в силу присущих им технологическим ограничениям, характеризуются узким диапазоном изменения параметров микрорельефа обработанной (модифицированной) поверхности, что сужает область определения их оптимальных значений.

В этом плане значительно большими технологическими возможностями обладает способ электроконтактной обработки (ЭКО), который авторами [2], предложено использовать для модификации поверхности металлических имплантатов. В результате ее выполнения обработанная поверхность представляет собой совокупность перекрывающихся друг друга лунок, имеющих форму близкую к сферической. Их образование связано с протеканием явления электрической эрозии, т.е. направленного разрушения токопроводящих материалов за счет их расплавления и испарения под действием кратковременных электрических разрядов, протекающих в зазоре между поверхностями заготовки и инструмента. При этом размерами получаемых лунок и степенью их перекрытия, которые в совокупности определяют параметры сформированного на поверхности имплантата микрорельефа, можно эффективно управлять за счет соответствующего изменения энергии электрического разряда и закона относительного перемещения поверхности заготовки и инструмента [3]. Как показали результаты предшествующих исследований [4], поверхность металлического образца имплантата, модифицированная путем ее ЭКО, обеспечивает большую по сравнению с поверхностью, модифицированной пескоструйной обработкой, прочность соединения с имитатором костной ткани с использованием фиксирующего материала.

Помимо микрорельефа поверхности имплантата на процесс его интеграции в организме человека существенное влияние оказывает работа выхода электрона ее поверхности. Она, согласно авторам работы [5], качественно связана с поверхностной (свободной) энергией, а следовательно, определяет адсорбционную способность поверхности и степень ее смачиваемости биологическими жидкостями, значения которой возрастают с уменьшением работы выхода электрона. В этой связи, для оценки эффективности применения ЭКО поверхности металлических имплантатов с целью обеспечения благоприятных условий их интеграции в организме человека, необходимо располагать данными, отражающими влияние режимов и условий выполнения ЭКО на работу выхода электрона. Установлению этих зависимостей посвящена данная работа.

Методика проведения экспериментальных исследований

На рис. 1 показано конструктивное исполнение металлических образцов имплантата, которые изготавливались из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и титанового сплава ВТ1-0. Они выполнены в виде плоской шайбы, имеющей две наружных цилиндрических поверхности разного диаметра и центральное отверстие. Торцевая поверхность Б и прилегающий к ней буртик служат для закрепления образца в приспособлении при обработке (модификации) его рабочей поверхности А, которая представляет собой кольцеобразную дорожку шириной 7,5 мм.

Обрабатываемый образец 1 закрепляется в цанговом патроне токарного станка, а с противоположной стороны поджимается неподвижным центром и получает равномерное вращательное движение вокруг своей оси с частотой n_1 . На поперечном суппорте станка смонтирован электродвигатель постоянного тока 3, корпус которого электрически изолирован от него. На валу электродвигателя неподвижно посажена оправка 4, в которой консольно закреплены проволочные электроды-инструменты 2, имеющие свободную длину L . Предварительно, за счет регулировочных перемещений продольного суппорта станка, электродвигатель устанавливался в положение, при котором взаимодействие проволочного элемента с обрабатываемой поверхностью протекает в условиях упругого деформирования. Значение этой деформации определяется величиной предварительно установленного натяга $\delta = L - k$. Для обработки поверхности образца по всей ширине кольцевой дорожки электродвигателю с закрепленными на его валу инструментами сообщается поперечная подача S_{np} . В качестве инструментов использовались при обработке титанового образца титановая проволока диаметром 0,9 мм, а при обработке стального – стальная проволока диаметром 0,7 мм.

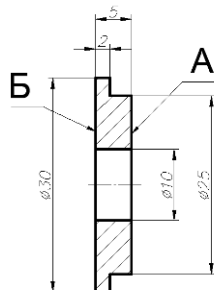


Рис. 1. Конструктивное исполнение металлического образца имплантата

Технологическая схема ЭКО поверхности образца металлического имплантата с использованием проволочного электрода-инструмента представлена на рис. 2.

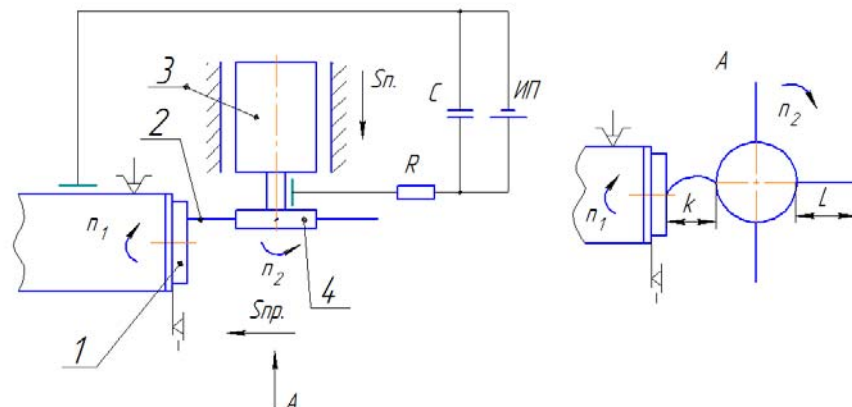


Рис. 2. Технологическая схема ЭКО поверхности образца металлического имплантата с использованием проволочного электрода-инструмента

Электрическая схема включает в себя источник питания постоянного тока ИП, накопительный конденсатор C , включенный параллельно контактирующим поверхностям проволочного электрода-инструмента и образца, а также последовательно подключенного им токоограничивающего резистора R . При вращении электродов-инструментов, они, периодически взаимодействуя с поверхностью образца, вызывают прерывание электрической цепи, что на стадии их сближения сопровождается возникновением электрических разрядов. В результате их действия происходит удаление металла с поверхности образца с формированием на ней характерных лунок, совокупность которых определяет микрорельеф модифицированной поверхности.

На рис. 3 представлены фотографии рабочей поверхности образца в исходном (рис.3а) состоянии (после точения) и после ее (рис.3б) электроконтактной обработки (ЭКО).

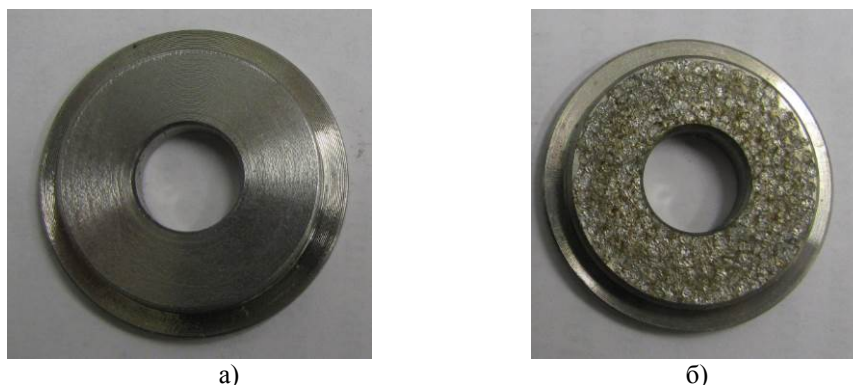


Рис. 3. Фотографии рабочей поверхности образца в исходном (а) состоянии и после ее электроконтактной обработки (б)

ЭКО образцов осуществлялась при трех значениях напряжения накопительного конденсатора U ($U = 60, 80$ и 100 В) с постоянной величиной натяга проволочных инструментов ($\delta = 2$ мм) и неизменных значениях частоты вращения образца ($n_1 = 480$ мин⁻¹) и частота вращения вала электродвигателя ($n_2 = 300$ мин⁻¹). В одной серии экспериментов обработка выполнялась на воздухе, а в другой – с применением дистиллированной воды (диэлектрическая жидкость), которая капельно подавалась в зону контакта проволочного инструмента с обрабатываемой поверхностью образца

Для определения работы выхода электрона поверхности образцов было предложено воспользоваться методами, основанными на регистрации изменений работы выхода электрона (РВЭ), измеряемой через контактную разность потенциалов (КРП). Методы определения РВЭ по КРП, объединяемые общим термином «зондовая электрометрия», являются бесконтактными, не требуют каких-либо специфических внешних условий и имеют относительно простое практическое воплощение, что

позволяет использовать их в процессе различных воздействий на поверхность (механических, электромагнитных, световых, зарядовых и т.п.).

Обсуждение полученных результатов

Из полученных результатов экспериментальных исследований установлено, что с увеличением напряжения накопительного конденсатора РВЭ модифицированной поверхности уменьшается, а КРП увеличивается. В частности, при обработке поверхности титанового образца проволоочным электродом-инструментом в водной среде при напряжении накопительного конденсатора 60 В значение КРП составляет 55 мВ, при 80 В – 75 мВ, а при 100 В – 105 мВ. При проведении ЭКО в данном случае, но в воздушной среде при напряжении накопительного конденсатора 60В КРП составляет 95 мВ, при 80 В -146 мВ, а при 100 В -156 мВ.

Аналогичные зависимости характерны и для стальных образцов с тем отличием, что изменения КРП для них при тех же режимах и условиях обработки несколько меньше, чем для титановых образцов. Так, например, при обработке поверхности стального образца проволоочным электродом-инструментом в водной среде при напряжении накопительного конденсатора 80 В значение КРП составляет 24 мВ. При проведении ЭКО в данном случае, но в воздушной среде КРП составляет 42 мВ.

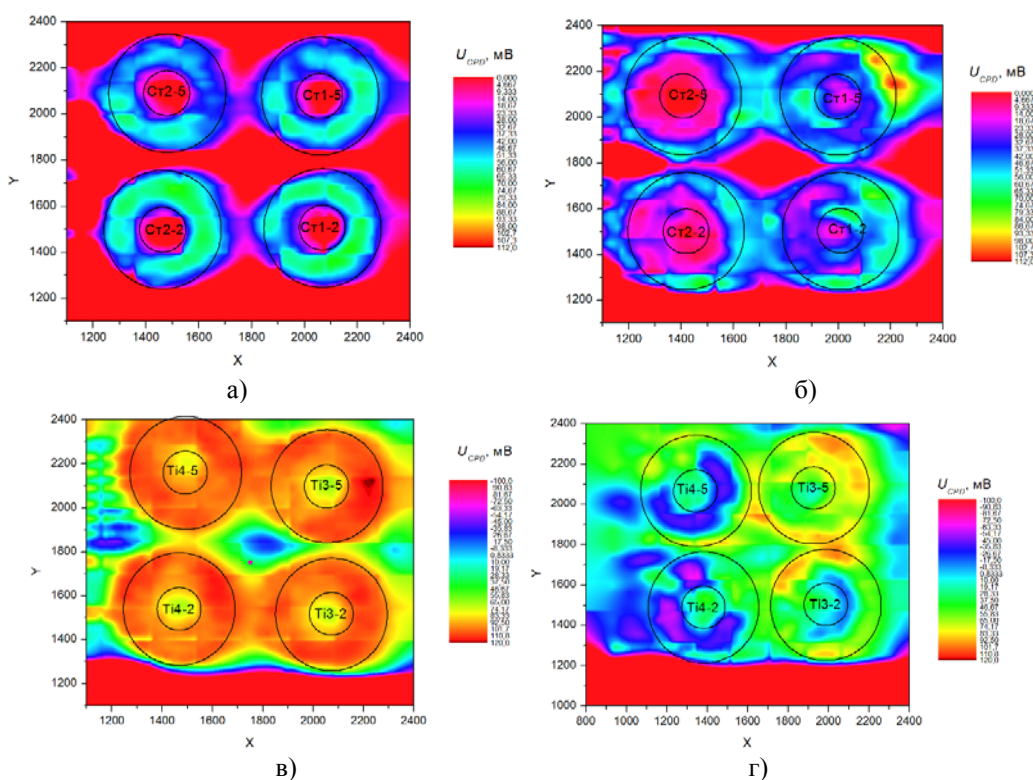


Рис. 4. Цветовые диаграммы поверхности образцов металлических имплантатов (а, б – сталь 12Х18Н10Т; в, г – ВТ1-0) до (а, в) и после (б, г) ЭКО при напряжении накопительного конденсатора 80 В

Выводы

Для измерения РВЭ предложено использовать метод НКВРП, который является компенсационным и позволяет оценить изменение КРП поверхности образца металлического имплантата до и после электроконтактной обработки, причем РВЭ качественно связана с поверхностной (свободной) энергией, а следовательно, определяет адсорбционную способность поверхности и степень ее смачиваемости биологическими жидкостями, значения которой возрастают с уменьшением работы выхода электрона.

Установлено, что поверхность металлического образца, подвергнутого ЭКО, обладает более низкой работой выхода электрона, чем поверхность в ее исходном (после точения) состоянии. В частности, установлено, что с увеличением напряжения накопительного конденсатора РВЭ

модифицированной поверхности уменьшается, а КРП увеличивается. В частности, при обработке поверхности титанового образца проволочным электродом-инструментом в водной среде при напряжении накопительного конденсатора 60 В значение КРП составляет 55 мВ, при 80 В – 75 мВ, а при 100 В – 105 мВ. При проведении ЭКО в данном случае, но в воздушной среде при напряжении накопительного конденсатора 60В КРП составляет 95 мВ, при 80 В -146 мВ, а при 100 В -156 мВ.

Литература.

1. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Москаленко А.В., Богдан П.С., Мониц С.Г. Теоретическое обоснование рациональных параметров режима электроконтактной обработки проволочного инструмента. «Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого» №3. – Гомель. – 2012, с. 3-10.
2. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Борисов В.А. Применение электроконтактной виброударной обработки для модификации образцов титановых имплантатов. Сборник докладов международного симпозиума «Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка». – Мн.: 2011, с. 53-57.
3. Danyluk, S., Zharin, A.L., Zanolia, E., Hamall, K. The non-vibrating capacitance probe for wear monitoring [Patent]. - US patent 5,974,869.1999.
4. Современные материалы хирургических имплантатов и инструментов./ В.В. Савич, М.Г. Киселев, А.И. Воронович. – 2-е изд. перераб. и доп. – Минск: ООО «ДокторДизайн», 2004. – 104 с.
5. Савич В.В. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / В.В. Савич, Д.И. Сарока, М.Г. Киселев, М.Г. Макаренко; под научн. ред. В.В. Савича. – Мн.: «Беларус. навука». – 2012. – 244 с.

ПРИДАНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕПРОФИЛИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТАМ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ

*М.Г. Киселев, д.т.н., проф., П.С. Богдан, магистрант
Белорусский национальный технический университет
220013 г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (37529)-7566405
E-mail: bpc@mail.ru*

Непрофилированный инструмент, представляющий собой тонкую диаметром 0,2-0,3 стальную или вольфрамовую проволоку либо стальные полосы аналогичной толщины (штрипсы), широко применяется в различных процессах обработки материалов. В частности, он используется в качестве электрода-инструмента при электроэрозионном и электрохимическом отрезании, и вырезании заготовок из труднообрабатываемых металлов и сплавов [1]. Он также применяется при многоинструментальной механической резке слитков полупроводниковых материалов на пластины с подачей в зону обработки абразивной суспензии [2].

Во всех этих случаях используется проволока в исходном состоянии ее поверхности, которая не обладает режущей способностью, а сьем материала заготовки осуществляется за счет электрической эрозии, анодного растворения или механического воздействия на него абразивных частиц. Вместе с тем, если придать исходной поверхности таких инструментов режущую способность, то с помощью их становится возможным обрабатывать материалы, твердость которых ниже твердости проволоки. Такое придание режущей способности по сути означает нанесение на поверхность инструментов специфического рельефа, содержащего конструктивные элементы, выполняющие роль режущих.

Для решения задачи придания исходной поверхности инструментов режущей способности было предложено использовать электроконтактную обработку [3]. Данный выбор был обусловлен специфической особенностью формируемых на поверхности инструмента следов обработки, которые представляют собой лунки, имеющие по краям характерные наплывы металла, выходящих за исходную поверхность инструмента (рис. 1). В процессе ЭКО они образуются в результате выброса расплавленного металла из лунки и его последующего затвердевания по ее краю в месте пересечения с поверхностью. В принципе, эти наплывы металла на поверхности инструмента оправданно рассматривать как режущие элементы, способные в процессе распиливания разрушать (срезать) материал заготовки, твердость которого ниже твердости металлического инструмента.

Электроконтактная обработка представляется наиболее оправданным способом нанесения требуемого рельефа по сравнению с аналогичными методами. В отличие от классической электроэрозионной обработки она не требует применения сложных следящих систем для поддержания постоянной величины межэлектродного промежутка, а также использования специальных генераторов

импульсов (используется источник постоянного или переменного тока низкого напряжения). При электроконтактной обработке формирование электрических импульсов, вызывающих эрозию обрабатываемого материала, происходит за счет принудительного периодического прерывания механического (электрического) контакта между электродом инструментом и обрабатываемой заготовкой, включенных в цепь источника питания. Как и при классической электроэрозионной обработке, процесс протекает в присутствии диэлектрической жидкости. В сравнении с лазерной, электроконтактную обработку отличает опять же простота и надежность применяемого оборудования, а также меньшее количество испаряемого металла, то есть меньшие потери материала.

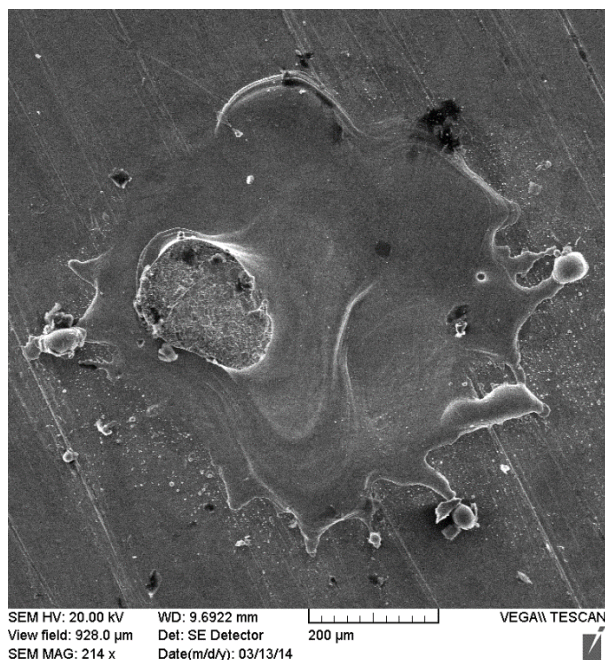


Рис. 1. Фотография следа электроконтактной обработки

Однако на сегодня отсутствуют систематизированные как теоретические, так и экспериментальные данные, отражающие возможность и целесообразность применения предлагаемого способа модификации исходной поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности. В этой связи, цель данной работы заключалась в экспериментальной оценке эффективности использования электроконтактной обработки исходной поверхности непрофилированного инструмента для обеспечения его режущей способности.

Геометрия полученной поверхности

Высота получаемых на поверхности инструмента наплывов является одним из наиболее важных показателей, характеризующих состояние поверхности инструмента после обработки. Поскольку эти наплывы являются по сути микролезвиями, то от их величины непосредственно зависит режущая способность инструмента, а их высота определяет толщину слоя, срезаемого инструментом за один проход (глубину резания).

Для определения максимальной высоты наплывов металла, образовавшихся на цилиндрической поверхности проволоки в результате ее электроконтактной обработки, использовалась следующая методика. Первоначально с помощью электронного микрометра с ценой деления 1 мкм определялся диаметр проволочного образца, закрепленного в рамке, в исходном состоянии его поверхности. Измерения выполнялись в пяти по длине образца сечениях: в средней его части и на расстоянии 10 и 15 мм по обе стороны от него. За окончательное значение диаметра проволоки принималось среднее арифметическое результатов этих измерений. Аналогичным образом измерялся диаметральный размер после электроконтактной обработки. Учитывая, что она осуществлялась в одном продольном сечении проволоки, т. е. наплывы металла располагались только со стороны рабочей части инструмента, то разность диаметрального размера и исходного диаметра проволоки соответствует их максимальной высоте. Полученные значения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения высоты наплывов металла на проволочном инструменте

Напряжение накопительного конденсатора, В	36	42	75
Высота наплывов металла на модифицированной поверхности проволочного инструмента, мкм	4	5	18

Для штрипс при проведении аналогичных процедур при измерении высоты наплывов значения получались схожие, что обусловлено одинаковым материалом проволоки и штрипс (У8А) и идентичными режимами обработки. Интерес же в этом случае представляет увеличение поперечного размера края штрипсы, подвергнувшегося обработке, которое также происходит за счет растекания расплавленного металла, выхода его за край и застывания в таком положении. Образующаяся геометрия конструктивно подобна разводке зубьев пилы, что должно положительно сказываться на процессе распиливания таким инструментом материалов.

Измерение ширины края происходило также до и после электроконтактной обработки, осуществлялось в пяти сечениях с последующим вычислением среднего значения. Однако, в отличие от проволоки, при обработке таким способом наплывы металла возникали с обеих сторон штрипсы, вследствие чего вычисленная разность делилась пополам для нахождения величины одиночного наплыва. Полученные значения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения высоты наплывов металла на штрипсе

Напряжение накопительного конденсатора, В	36	42	75
Высота наплывов металла на модифицированной поверхности штрипсы, мкм	4	19	25

Из анализа этих данных следует, что с повышением напряжения накопительного конденсатора в ходе выполнения электроконтактной обработки проволочного инструмента, высота формируемых на его поверхности наплывов металла нелинейно возрастает, достигая при $U = 75$ В 18 мкм, против 4 мкм при $U = 36$ В. Такая зависимость объясняется тем, что с повышением U возрастает энергия электрического импульса, действующего между электродами, а соответственно, увеличивается размер образовавшейся на поверхности проволочного образца лунки. Это сопровождается возрастанием количества выброшенного из нее расплавленного металла, в результате чего увеличивается высота его наплыва по ее краям. Следовательно, путем изменения энергии импульса за счет регулирования напряжения накопительного конденсатора, его емкости и длительности протекания импульса, можно целенаправленно влиять на высоту получаемых на обрабатываемой поверхности наплывов металла.

Определение режущей способности проволочного инструмента с модифицированной поверхностью

Режущая способность полученного проволочного инструмента определялась на специально созданной установке [4]. Она оценивалась по интенсивности распиливания i им образцов из различных материалов, которая определялась отношением площади пропиленного на них участка S ко времени обработки t , $i = S/t$ (мм²/мин). В принятой технологической схеме распиливания проволочный инструмент прижимается с постоянным усилием (300 Н) к поверхности образца, совершающего относительно него возвратно-поступательное движение с частотой 30 дв. ход/мин и величиной хода 100 мм. Во всех экспериментах продолжительность распиливания была постоянной и составляла 10 мин. Глубина полученного на образцах пропила определялась с помощью микроскопа ММИ-2, после чего вычислялась площадь удаленного на нем материала. Использовались образцы из дерева (сухая сосна), органического стекла, мрамора и кости. Влияние напряжения обработки при выполнении ЭКО проволочного инструмента значение интенсивности распиливания им образцов из различных материалов отражают данные, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Значения интенсивности распиливания им образцов из различных материалов в зависимости от напряжения накопительного конденсатора

Напряжение накопительного конденсатора, В	Интенсивность распиливания образцов из различных материалов, мм ² /мин			
	Мрамор	Органическое стекло	Кость	Дерево
36	0	0,15	1,2	0,27
42	0,45	0,3	1,2	0,45
75	2,4	3,3	8	16,2

Как видно из приведенных данных, с увеличением высоты наплывов металла (режущих элементов) на исходной поверхности инструмента, за счет повышения напряжения накопительного конденсатора, интенсивность распиливания образцов во всех случаях нелинейно возрастает. То есть в диапазоне изменения U с 36 до 42 В наблюдается незначительное увеличение ее значения, что объясняется формированием на поверхности инструмента лунок небольших размеров с малой высотой наплывов металла (4-5 мкм), имеющих скругленную форму, которые из-за отсутствия режущей кромки не в состоянии эффективно осуществлять процесс резания обрабатываемого материала. При напряжении накопительного конденсатора 75 В, на обработанной поверхности инструмента образуются лунки существенно большего размера, имеющие по краям вытянутые по форме наплывы металла значительно большей высоты (18 мкм). В этом случае в процессе распиливания они, выступая в роли миниатюрных резцов, осуществляют резание обрабатываемого материала, что подтверждается наличием продуктов разрушения в виде мелкодисперсной стружки. Как следует из полученных экспериментальных данных, с увеличением твердости обрабатываемого материала интенсивность его распиливания проволочным инструментом снижается. Так наименьшее ее значение наблюдается при обработке мрамора (2,4 мм²/мин), имеющего наибольшую из примененных материалов твердость, а при распиливании наименее твердого деревянного образца она имеет максимальное значение (16,2 мм²/мин).

Влияние режимов обработки проволочного инструмента на величину сил резания при распиливании им образцов

Для комплексного изучения процесса распиливания указанных материалов таким инструментом важно располагать данными, отражающими влияние режимов электроконтактной обработки его исходной поверхности на величину сил сопротивления, действующих в зоне обработки. Дело в том, что их величина и характер изменения в процессе распиливания позволяют судить о режущей способности используемого проволочного инструмента и ее снижении во времени при обработке различных материалов.

Измерение силы проводилось посредством упругой балки равного сопротивления, наклеенными на ней по полумостовой схеме тензодатчиков, которая служила связующим звеном между приводом установки и подвижной кареткой. Ее применение позволило измерять величину сил сопротивления, действующих в зоне распиливания. Сигнал с тензодатчиков, пропорциональный величине сил сопротивления, поступает на усилитель постоянного тока и далее на самописец ЭНДИМ 622.01, где фиксируется на бумажном носителе. Тарировка тензобалки осуществляется путем ее нагружения с помощью электронного динамометра WeiHeng WH-A05 с ценой деления 0,05 Н. Запись сил сопротивления производилась в начале обработки, то есть на стадии врезания проволочного инструмента в поверхность образца, а также по истечению 5 и 10 минут его распиливания.

Учитывая, что величина сил сопротивления, действующих в зоне распиливания, представляет собой сумму сил резания F_r и сил трения $F_{тр}$, то для их разделения использовалась следующая методика. В начале осуществлялась обработка образца проволочным инструментом с модифицированной поверхностью с фиксированием значения $F_{с_{max}}$. По истечении принятого времени обработки, он заменялся на проволочный инструмент в исходном состоянии его поверхности, который устанавливался в полученный на образце пропилен, и фиксировалось значение максимальной силы трения $F_{тр_{max}}$, действующей между ними в процессе их относительного возвратно-поступательного движения. По полученным значениям $F_{с_{max}}$ и $F_{тр_{max}}$ вычислялась максимальная величина сил резания $F_{r_{max}}$, действующих в процессе распиливания образца ($F_{r_{max}} = F_{с_{max}} - F_{тр_{max}}$).

В качестве инструмента использовалась стальная (У8А) закаленная проволока диаметром 0,37 мм. Электроконтактная обработка ее поверхности осуществлялась с помощью стального проволочного электрода-инструмента диаметром 0,78 мм при различных значениях напряжения накопительного конденсатора. Подробное описание методики выполнения этой операции приведено в работе [4]. Образцы, имеющие одинаковую толщину распиливаемой поверхности (10 мм), изготавливались из дерева (высушенная сосна), органического стекла и углесталла. Во всех экспериментах статическое усилие прижатия инструмента к поверхности образца было постоянным и составляло 10 Н.

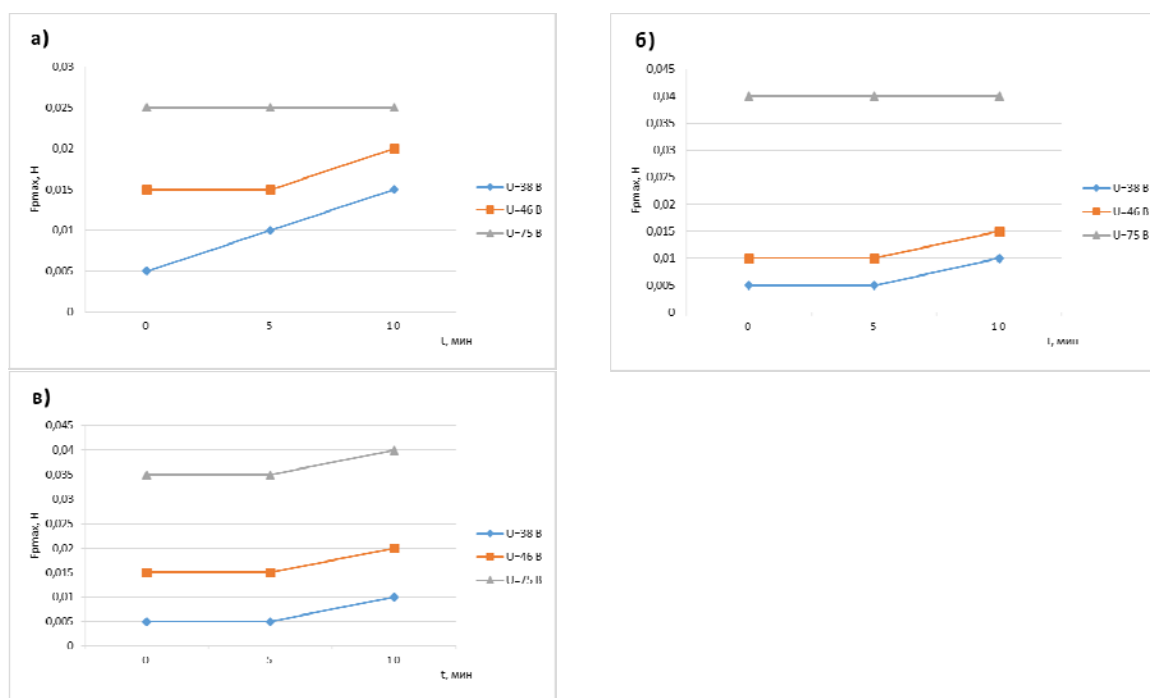


Рис. 2. Зависимость максимального значения силы резания $F_{p, \max}$, действующей в зоне распиливания, от продолжительности выполнения операции t при обработке образцов испытываемым проволочным инструментом, исходная поверхность которого подвергнута электроконтактной обработке при трех значениях напряжения накопительного конденсатора U : а – образец из дерева, б – из углеситалла, в – из органического стекла

На рис. 2 приведены экспериментально полученные зависимости максимального значения силы резания, действующей в зоне распиливания от продолжительности выполнения операции при обработке образцов из различных материалов испытываемым проволочным инструментом, исходная поверхность которого подвергнута электроконтактной обработке при трех значениях напряжения накопительного конденсатора U .

Из анализа таких зависимостей следует, что во всех случаях с увеличением напряжения накопительного конденсатора U в ходе электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента значение сил резания, действующих в зоне обработки, возрастает. Объясняется это тем, что с повышением U увеличивается энергия электрического разряда в процессе электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента [5,6], в результате чего возрастают как размеры получаемых на ней лунок, так и образовавшихся по их краям наплывов металла. Так при $U = 36$ В средняя высота h этих наплывов составляет 4 мкм, при $U = 46$ В – $h = 6$ мкм и при $U = 75$ В – $h = 18$ мкм. Учитывая, что именно эти наплывы металла на поверхности проволочного инструмента выполняют роль своеобразных режущих элементов, то с увеличением их размеров возрастает глубина резания, а, соответственно, и значение сил резания, действующих в зоне распиливания. Наибольшее значение силы резания ($F_p = 0,04$ Н) при начале распиливания имеет место при обработке образца из углеситалла, несколько меньшее ($F_p = 0,035$ Н) – при распиливании образца из органического стекла и минимальное ($F_p = 0,025$ Н) – при обработке деревянного образца. В тоже время действующие в зоне обработки силы трения имеют наибольшую величину ($F_{тр} = 0,015$ Н) при распиливании органического стекла, меньшее ($F_{тр} = 0,010$ Н) при обработке дерева, а минимальное их значение ($F_{тр} = 0,005$ Н) при распиливании углеситалла.

С повышением продолжительности распиливания до 5 минут, то есть с увеличением глубины пропила на образце, значение сил сопротивления F_c , действующих в зоне обработки, а также величина сил трения $F_{тр}$ во всех случаях возрастает. Связано это с изменениями условий взаимодействия поверхностей проволочного инструмента и обрабатываемого образца, и в частности, с увеличением площади их контактирования, вызывающего повышение сил трения. Вместе с тем, значение сил ре-

зания F_p на указанном временном интервале обработки остается постоянным, что свидетельствует о практически неизменной режущей способности проволоочного инструмента.

При дальнейшем увеличении продолжительности распиливания образцов, вплоть до 10 минут, величина сил сопротивления F_c , действующих в зоне обработки, возрастает и тем интенсивнее, чем меньше значение напряжения накопительного конденсатора при электроконтактной обработке исходной поверхности проволоочного инструмента, то есть чем меньше размер получаемых на ней наплывов металла (режущих элементов). Что касается сил трения $F_{тр}$, то их величина на это временном участке обработки остается постоянной, в результате чего значение сил резания по мере увеличения t возрастает. Наличие такой зависимости $F_p(t)$ объясняется снижением режущей способности модифицированной поверхности проволоочного инструмента за счет изнашивания и затупления режущих кромок образовавшихся на ней наплывов металла, что сопровождается возрастанием сил резания. Кроме того, в силу падения режущей способности инструмента ухудшаются условия удаления из зоны распиливания продуктов обработки, которые представляют собой мелкодисперсные частицы материала образца. Они пакетируются на поверхности инструмента, то есть закрепляются на ней в зонах, прилегающих к напльвам металла (режущим элементам), вызывая тем самым дополнительное снижение режущей способности инструмента.

Применение штрипса с модифицированной поверхностью для резки зубной ткани

Штрипса с модифицированной поверхностью применялась для резки зубных материалов в рамках исследований новых методов лечения кариеса. Причинами применения именно штрипсы служили такие технологические особенности, как малая ширина штрипсы (0,3 мм), а вследствие этого малый расход материала в стружку и низкая скорость возвратно-поступательного движения штрипсы при распиливании, поскольку при скоростях резания, присущих, например, распиловочным дискам, происходила температурная деформация материалов, применявшихся при лечении. Поверхность спила показана на рис. 3.

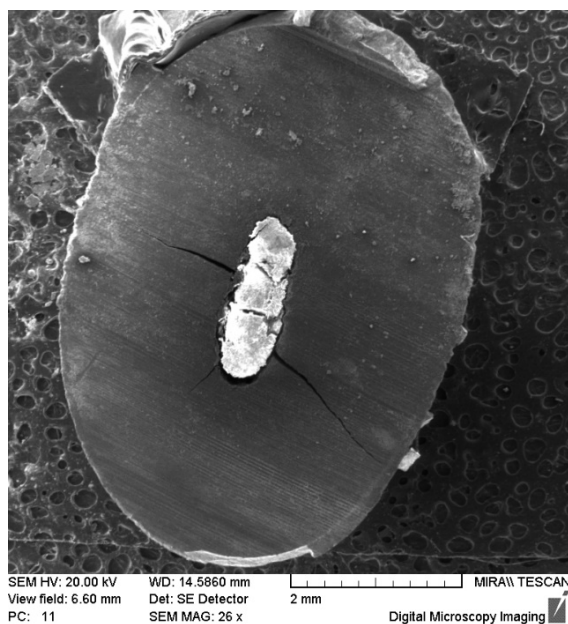


Рис. 3. Фотография спила зубного образца

Полученные спилы были признаны пригодными для дальнейшей работы с ними и проведения необходимых исследований, что подтверждает возможность применения инструментов с модифицированной поверхностью не только для производственных, но и для научно-исследовательских работ.

Литература.

1. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И. и др. Учебное пособие (в 2-я томах) т. 1. Обработка материалов с применением инструмента/ Под ред. В.П. Смоленцева.– М.: Высш. шк., 1983.–247 с. ил.

- Пичугин, И.Г. Технология полупроводниковых приборов: Учеб. Пособие для вузов по спец. «Полупроводники и диэлектрики», «Полупроводниковые и микроэлектронные приборы» / И.Г. Пичугин, Ю.М. Таиров. – М.: Высш. шк., 1984. – 288 с.
- Киселев М.Г., Дроздов А.В., Москаленко А.В., Богдан П.С. Модификация исходной поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности путем применения электроконтактной обработки. Вестник Белорусско-Российского университета №1(34) 2012.
- Киселев М.Г., Дроздов А.В., Новиков А.А., Москаленко А.В., Богдан П.С. Методика и оборудование для оценки режущей способности проволочного инструмента. Метрология и приборостроение №1 2012.
- Электроэрозионная обработка металлов / М.К. Мицкевич, А.И. Бушик, И.А. Бакуто и др.; Под ред. И.Г. Некрашевича.– Мн.: Наука и техника, 1988. –216 с.
- Киселев М.Г., Дроздов А.В., Москаленко А.В., Богдан П.С. Теоретическое обоснование рациональных параметров режима электроконтактной обработки проволочного инструмента. Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого №3(50) 2012 с. 3-10.

ИНГИБИТОР КИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ

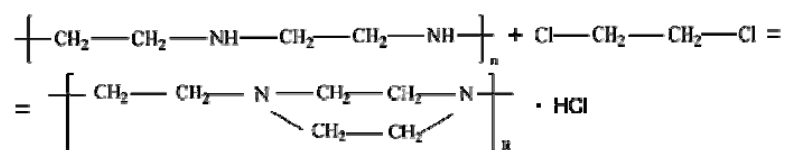
Г.Г. Тимербаев, А.Н. Иванов, Г.К. Гаекуллова, студенты гр. БТС-12

*научный руководитель: А.А. Исламутдинова, к.т.н., доц. кафедры «Общая химическая технология»
Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке
453118, Республика Башкортостан, г. Стерлитамак, пр. Октября, тел. 8(960)8052536
E-mail: sanekclubstr@mail.ru*

В настоящее время значительная часть нефтегазовых и нефтегазопромысловых сооружений подвержены сильной коррозии под действием внешней и рабочей среды, приводящей к интенсификации отказов оборудования. Увеличение влияния коррозионного фактора объясняется повышением объема добываемого сырья (нефть, газ, газовый конденсат), содержащего коррозионно-активные компоненты, а также возрастающая напряженность работы оборудования при интенсивных методах добычи, транспорта и переработки продукции. Существенное коррозионное воздействие оказывает так называемая пластовая вода, содержащая хлориды натрия, кальция, магния и другие соли [1].

Одним из наиболее эффективных методов борьбы с коррозией является применение ингибиторов коррозии. Производственной площадке №1 ОАО «Башкирская содовая компания» (бывшее ОАО «Каустик») уже выпускается ингибитор коррозии Викор [2]. Недостатком данного ингибитора является недостаточно высокая эффективность. В связи с этим мы предлагаем более качественный ингибитор, способный составить конкуренцию уже присутствующим на рынке продуктам.

Технология получения данного продукта основана на взаимодействии полиэтиленполиаминов (ПЭПА) и дихлорэтана с образованием моно- и полициклических соединений, обладающих антикоррозионными свойствами.



Для этого к определенному количеству ПЭПА при тщательном перемешивании и температуре, равной 75⁰С, малыми порциями приливаем дихлорэтан. Синтез проводится при постоянном перемешивании в течении 4 часов при заданной температуре. Так как температура синтеза близка к температуре кипения дихлорэтана, то подключаем обратный холодильник. Полученный продукт взаимодействия ПЭПА из дихлорэтана содержится в водном растворе, который мы отделяем с помощью делительной воронки.

Полученный нами образец был испытан на предмет антикоррозионной защиты на аппарате МОНИКОР-2М. Для проверки достоверности ингибирующей способности была произведена репрезентативная выборка значений концентрации полученного ингибирующего состава в конечном объеме раствора. Для этого были выбраны концентрации, г/100 г кислоты: 0,4; 0,8; 1,2; 1,6. Концентрация соляной кислоты во всех экспериментах составляла 23% масс. Полученные результаты представлены на графике (рис.2).

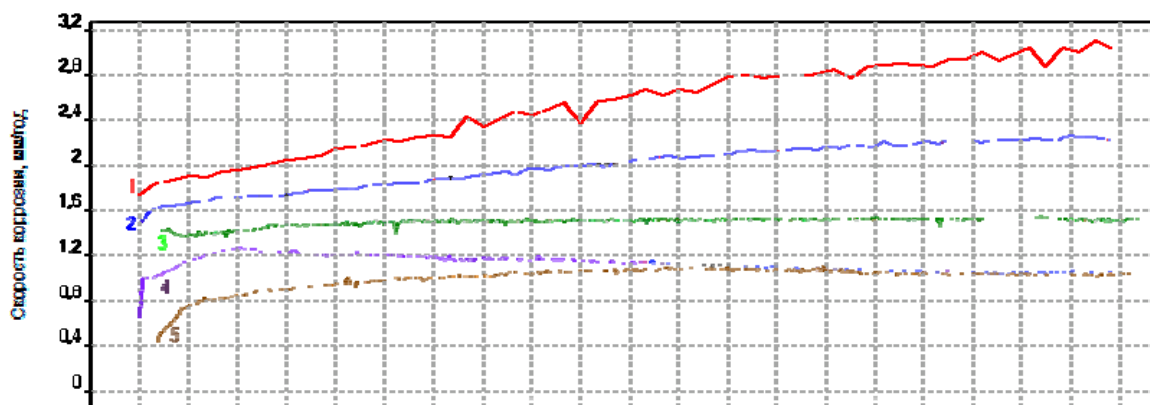


Рис. 1. График зависимости скорости коррозии

- 1 – «холостого замера»
- 2 – 0,4 г ингибитора на 100 г HCl Ср.знач. = 2,22 мм/год
- 3 – 0,8 г ингибитора на 100 г HCl Ср.знач. = 1,43 мм/год
- 4 – 1,2 г ингибитора на 100 г HCl Ср.знач. = 1,05 мм/год
- 5 – 1,6 г ингибитора на 100 г HCl Ср.знач. = 1,03 мм/год

Как видно из полученных данных, исследуемый продукт действительно проявляет ингибирующие свойства в кислой среде. При этом, как и следовало ожидать, с увеличением доли ингибитора в растворе интенсивность коррозии уменьшается. После достижения значения концентрации 1,2 г/100 г кислоты, дальнейшее увеличение дозировки ингибитора в растворе способствует лишь незначительному снижению скорости коррозии. Поэтому достаточно эффективным и наиболее оптимальным значением объема ингибитора на единицу раствора будет являться 1,2 % масс.

Таблица

Защитный эффект ингибитора при различных концентрациях

Содержание ингибитора, г на 100 г раствора	Время, ч.	Устоявшаяся скорость коррозии, мм/год	Защитный эффект, %
–	2,00	3,40	0
0,4	2,00	2,20	35,29
0,8	2,00	1,55	54,41
1,2	2,00	1,02	70,00
1,6	2,00	1,00	70,59

По многочисленным параметрам разработанный нами ингибитор не уступает по показателям существующие промышленные аналоги. К тому же дихлорэтан, в отличие от изомерных органических кислот, являющихся исходным сырьем для получения Викора, является более доступным для производственной площадки № 1 ОАО «БСК».

Литература.

- Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. Уфа, 2002, 272 с.
- Лисицкий В.В., Вахитов Х.С., Расулев Р.Ф., Гатаулин. Ингибиторы коррозии Викор на основе 1,2-дизамещенных имидозалинов. Нефтепереработка и нефтехимия: материалы 4 конгресса нефтегазопромышленников России. – Уфа: Изд-во ИНХП, 2003. С.202-203.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ
В НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМАХ Vi-MoO_3**

В.Э. Суровая, ассистент, Л.Н. Бугерко, к.х.н., доц., Э.П. Суровой*, д.х.н., проф.*

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (3842)-58-30-14

**Кемеровский государственный университет*

650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842)-58-12-26

E-mail: sur.vik@mail.ru

Выяснения степени общности процессов, протекающих на границе между металлом, оксидом и окружающей атмосферой, а также необходимость разработки принципиально новых материалов, стабильных в условиях коррозионного воздействия окружающей среды, ставят правомерной и своевременной задачу комплексного исследования свойств индивидуальных и двухслойных наноразмерных слоев оксида молибдена (VI) и висмута.

Висмут, оксид молибдена (VI) и системы на их основе привлекают внимание исследователей различного профиля [1–5]. MoO_3 применяется в качестве катализатора в органическом синтезе, при переработке нефти (крекинг, гидроочистка, риформинг). 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, CO , CO_2 [6]. Устройства на основе MoO_3 могут быть рекомендованы к использованию в качестве электрохромных и фотохромных дисплеев [7], сенсоров для контроля содержания газов в атмосфере [8].

Одним из важнейших направлений применения висмута является производство полупроводниковых материалов. В получении полония-210 важного элемента радионуклидной промышленности, который служит источником энергии на космических кораблях. Оксид висмута (III) применяют для изготовления многих лекарств от желудочно-кишечных заболеваний, а также антисептических и заживляющих средств [5, 9, 10].

В работе представлены результаты исследований закономерностей процессов, протекающих в атмосферных условиях в индивидуальных и двухслойных наноразмерных слоях оксида молибдена (VI) и висмута в зависимости от толщины пленок Vi ($d = 3 - 92$ нм) и MoO_3 ($d = 5 - 40$ нм), температуры ($T = 373 - 673$ К) и времени термообработки.

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ($2 \cdot 10^{-3}$ Па) путем нанесения тонких слоев Vi (3-92 нм) и MoO_3 (5-40 нм) на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». Двухслойные системы $\text{Vi} - \text{MoO}_3$ готовили путем последовательного нанесения слоев MoO_3 на слой Vi (предварительно нанесенный на подложку из стекла). В качестве испарителя использовали лодочки из молибденовой и танталовой жести толщиной $d = 3 \cdot 10^{-4}$ м для приготовления слоев MoO_3 и Vi соответственно. Подложками служили, предварительно очищенные, стекла от фотопластинок (ГОСТ 9284 – 59) [11 – 16, 18]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 - 1100 нм.

Толщину индивидуальных пленок MoO_3 и Vi определяли спектрофотометрическим, микроскопическим (интерференционный микроскоп «МИИ-4») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами [11 – 16, 18]. Образцы подвергали термической обработке в сушильном шкафу «Mettert 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 0,02 - 2560 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 ($U_{\text{ф}}$) проводили на высоковакуумном экспериментальном комплексе [14]. 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 молибдена (VI) и электродом сравнения из платины измеряли в интервале температур $T = 373 - 673$ К и давлений ($P = 1,3 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^{-5}$ Па), используя модифицированный метод Кельвина [16].

В результате исследований оптических свойств наноразмерных пленок MoO_3 , Vi и двухслойных систем $\text{Vi} - \text{MoO}_3$ проведенных в настоящей работе и ранее [11–16, 18] было установлено, что

спектры поглощения образцов до термической обработки в значительной степени зависят от толщины каждого из слоев MoO_3 и Bi . При этом на спектрах поглощения систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ проявляются полосы поглощения индивидуальных пленок MoO_3 и Bi .

Установлено, что спектры поглощения систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ в коротковолновой области спектра ($\lambda = 300\text{--}500$ нм) по мере уменьшения толщины пленок висмута в значительной степени определяются поглощением пленок MoO_3 . В длинноволновой области спектра $\lambda = 500 - 1100$ нм в большей степени проявляются полосы поглощения пленок висмута. По мере увеличения толщины пленок висмута наблюдается увеличение оптической плотности систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ в диапазоне $\lambda = 300 - 1100$ нм. При увеличении толщины пленок MoO_3 оптическая плотность систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ также возрастает, однако, при этом в большей степени проявляется полоса поглощения в коротковолновой области спектра ($\lambda = 300 - 600$ нм).

При анализе спектров зеркального отражения было установлено, что отражательная способность систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ также зависит от толщины пленок висмута и оксида молибдена (VI). Из рисунка 1 видно, что по мере увеличения толщины пленок висмута наблюдается увеличение отражательной способности системы $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ в диапазоне $\lambda = 600\text{--}1100$ нм. При увеличении толщины пленок MoO_3 (в диапазоне $d=5\text{--}33$ нм) и уменьшении толщины пленок Bi (в диапазоне $d = 126 - 3$ нм) отражательная способность системы $\text{Bi}\text{--}\text{MoO}_3$ в диапазоне $\lambda = 270 - 450$ нм возрастает. При последовательном уменьшении толщины пленок MoO_3 (в диапазоне $d=33 - 8$ нм) и увеличении толщины пленок Bi (в диапазоне $d=45 - 92$ нм) обнаружен «эффект просветления» - отражательная способность стеклянной подложки уменьшается практически до нулевого значения при определенных длинах волн в диапазоне $\lambda = 610 - 410$ нм.

На рис. 1 в качестве примера представлены спектры отражения гетеросистем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ с различной толщиной подслоев до термической обработки.

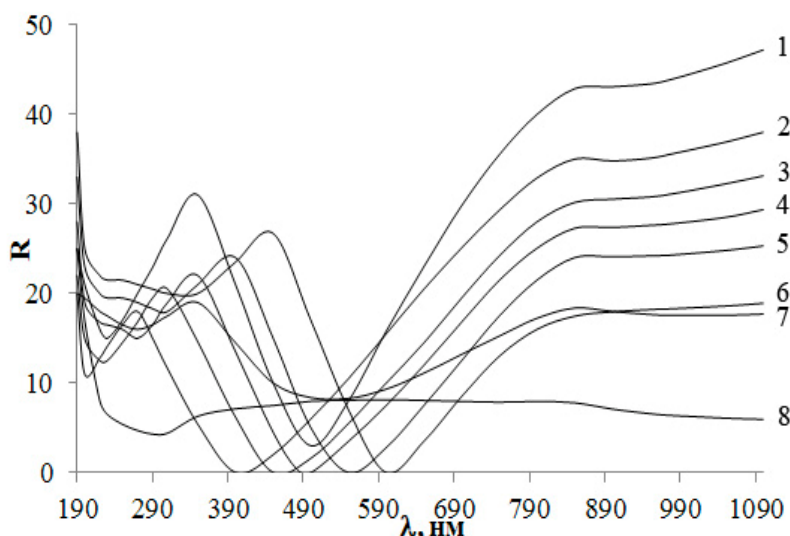


Рис. 1. Спектры отражения чистого стекла (подложки) (8) и систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ толщиной:
1) $d(\text{Bi}) = 126$ нм, $d(\text{MoO}_3) = 24$ нм; 2) $d(\text{Bi}) = 92$ нм, $d(\text{MoO}_3) = 8$ нм; 3) $d(\text{Bi}) = 78$ нм, $d(\text{MoO}_3) = 14$ нм; 4) $d(\text{Bi}) = 63$ нм, $d(\text{MoO}_3) = 18$ нм; 5) $d(\text{Bi}) = 59$ нм, $d(\text{MoO}_3) = 28$ нм;
6) $d(\text{Bi}) = 45$ нм, $d(\text{MoO}_3) = 33$ нм;
7) $d(\text{Bi}) = 25$ нм, $d(\text{MoO}_3) = 11$ нм

Для выяснения возможного взаимодействия между пленками висмута и оксида молибдена (VI) в процессе приготовления систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ были сопоставлены экспериментальные спектры поглощения систем с рассчитанными спектрами поглощения, полученными суммированием индивидуальных пленок MoO_3 и Bi аналогичной толщины.

На рис. 2 приведены экспериментальные и рассчитанные спектры поглощения индивидуальных слоев висмута, триоксида молибдена и гетеросистемы.

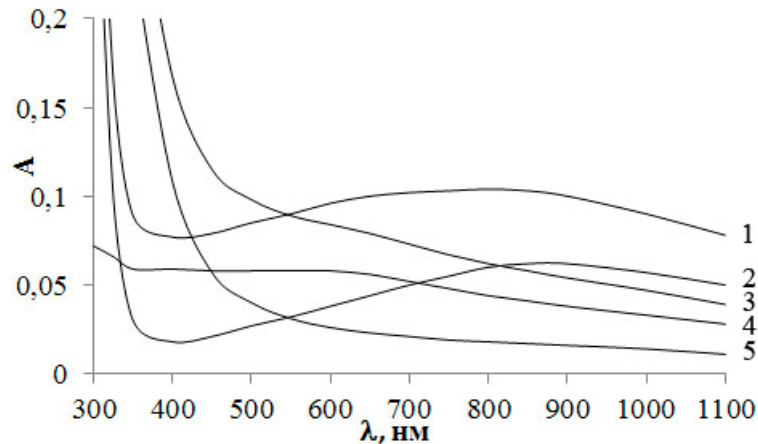


Рис. 2. Экспериментальные (1,4,5) и рассчитанные (2, 3) спектры поглощения: Bi-MoO_3 (1, 3), MoO_3 (2), Bi (4), MoO_3 (5); $d(\text{Bi}) = 3 \text{ нм}$, $d(\text{MoO}_3) = 7 \text{ нм}$

Из рис. 2 видно, что рассчитанные и экспериментальные спектры поглощения всех исследованных систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ не совпадают. На экспериментальных кривых в длинноволновой области спектра в диапазоне $\lambda = 450 - 1100 \text{ нм}$ проявляется широкая полоса поглощения с максимумом при $\lambda \approx 870 \text{ нм}$, наличие которого связано с формированием при приготовлении систем дополнительного количества центров $[e(\text{V}_a)^{++}e]$, где $(\text{V}_a)^{++}$ – анионная вакансия [14]. В коротковолновой области спектра в диапазоне $\lambda = 300 - 450 \text{ нм}$ наблюдается уменьшение оптической плотности и смещение края полосы поглощения системы $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ в коротковолновую область спектра.

В результате термической обработки систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ (приготовленных из пленок висмута и оксида молибдена (VI) разной толщины) в интервале температур $T = 373 - 673 \text{ К}$ в атмосферных условиях спектры поглощения и отражения образцов претерпевают существенные изменения. Причем, наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также предельные значения оптической плотности после термической обработки образцов зависят от первоначальной толщины пленок Bi и MoO_3 , температуры и времени термообработки. По мере увеличения температуры, уменьшения толщины пленок оксида молибдена (VI) и висмута при термообработке систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ в диапазоне $T = 373 - 673 \text{ К}$ наблюдается увеличение эффектов изменения оптической плотности и уменьшение времени достижения ее предельного значения.

Для выяснения характера влияния пленок висмута на термические превращения в пленках оксида молибдена (VI) в процессе термической обработки систем Bi-MoO_3 были рассчитаны, построены и сопоставлены кинетические зависимости степени превращения $\alpha = f(\tau)$ (где τ – время термической обработки) пленок MoO_3 и висмута разной толщины, нанесенных на стеклянные подложки, при различных температурах термообработки. Для расчета значений оптической плотности пленок MoO_3 из экспериментальных спектров поглощения систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ вычитали спектры поглощения индивидуальных пленок висмута, до, и в процессе термообработки систем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ и пленок висмута при разных температурах.

Итоговое выражение для определения степени термического превращения центра T_1 в центр T_2 [15]:

$$\alpha = (A_{\text{обп}} - A_{T_1}^1) / (A_{T_2}^1 - A_{T_1}^1),$$

где $A_{T_2}^1$, $A_{T_1}^1$ – предельные оптические плотности при максимальной и минимальной концентрации центров T_2 при $\lambda = 870 \text{ нм}$.

Было установлено, что степень превращения центра T_2 пленок MoO_3 в системах $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ зависит от первоначальной толщины пленок Bi и MoO_3 , температуры и времени термической обработки. По мере увеличения времени термообработки степень превращения пленок MoO_3 в системах $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ (рассчитанная по изменению оптической плотности в полосе поглощения центра T_2) возрастает. Увеличение температуры термообработки системы $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ (при постоянной толщине пленок MoO_3 и Bi) приводит к возрастанию скорости термического превращения центра T_2 пленок MoO_3 (рис. 3). При увеличении толщины пленок MoO_3 в системах Bi-MoO_3 при постоянной температуре термообработки степень превращения во всем исследованном интервале температур уменьшается. Установлено, что скорость превращения центра T_2 пленок MoO_3 в системах $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ больше, чем в индивидуальных пленках MoO_3 .

Для выяснения энергетического строения контактов оксида молибдена (VI) с висмутом и причин, вызывающих наблюдаемые изменения металлом оптических свойств MoO_3 в разных спектральных областях были измерены фотоЭДС (U_ϕ) для гетеросистем $\text{Bi} - \text{MoO}_3$ и значения КРП между MoO_3 , Bi и электродом сравнения из платины, в условиях атмосферы ($P = 1 \cdot 10^5$ Па) и высокого вакуума ($P = 1 \cdot 10^{-5}$ Па). Установлено, что значения КРП между оксидом молибдена (VI) и электродом сравнения из платины при понижении давления в измерительной ячейке уменьшаются. Наблюдаемое отличие в значениях работ выхода Bi и MoO_3 (табл. 1) свидетельствует о возможности при формировании плотного контакта и установлении в системе Bi-MoO_3 состояния термодинамического равновесия результирующего потока электронов из висмута в оксид молибдена (VI).

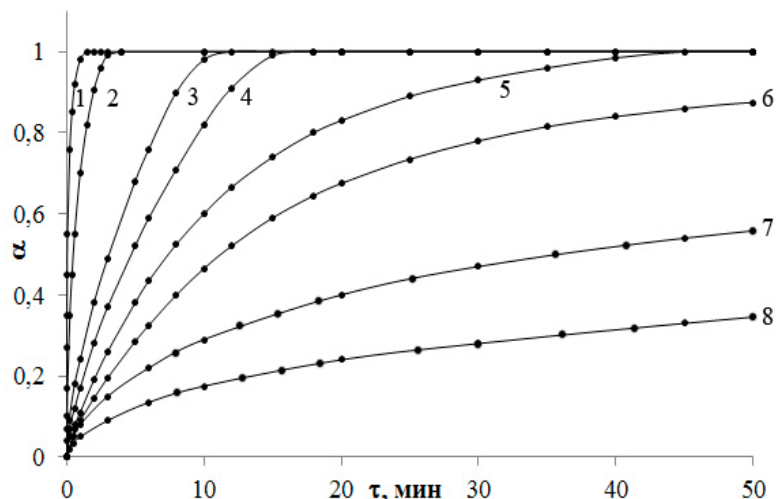


Рис. 3. Зависимость степени превращения центра 2 пленки MoO_3 в системах Bi-MoO_3 (1, 3, 5, 7) и в пленках MoO_3 (2, 4, 6, 8) ($d(\text{Bi}) = 30$ нм, $d(\text{MoO}_3) = 17$ нм) при разных температурах: 1,2 – 373 К, 3,4 – 473 К, 5,6 – 573 К, 7,8 – 673 К

В результате измерений U_ϕ для систем Bi-MoO_3 в диапазоне $\lambda = 300-1100$ нм было установлено, что в процессе облучения светом формируется U_ϕ положительного потенциала со стороны слоя MoO_3 . Формирование U_ϕ для систем Bi-MoO_3 прямо свидетельствует о разделении неравновесных носителей заряда на границе раздела. Из анализа результатов измерений U_ϕ и КРП (табл. 1) было установлено, что при создании контакта оксида молибдена (VI) с висмутом в результате электронных переходов со стороны MoO_3 образуется обогащенный электронами антизапорный слой.

Таблица 1

Контактная разность потенциалов между пленками висмута, оксида молибдена (VI) и относительным электродом из платины

Образец	$V_{\text{КРП}}, \text{В}$		
	$P = 1 \cdot 10^5$ Па	$P = 1 \cdot 10^{-5}$ Па	$P = 1 \cdot 10^{-5}$ Па*
$^1\text{MoO}_3$	+0,72	+0,70	+0,68
$^2\text{MoO}_3$	+0,73	+0,71	+0,68
$^3\text{MoO}_3$	+0,72	+0,71	+0,66
^1Bi	+0,8	+0,8	+0,21
$^2\text{Bi}_2\text{O}_3$	+0,31	+0,28	+0,21

$^1\text{MoO}_3$ – порошок, $^2\text{MoO}_3$ – таблетка, $^3\text{MoO}_3$ – пленка на стекле.

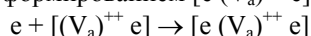
1) Пленки висмута толщиной ($d=92$ нм),

2) Образцы Bi_2O_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.

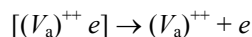
Авторами [17] было установлено, что полоса поглощения в диапазоне $\lambda = 300 - 400$ нм с максимумом при $\lambda = 350$ нм (центр T_1) в области края собственного поглощения для монокристаллов MoO_3 связана со стехиометрическим недостатком кислорода и обусловлена вакансиями кислорода с одним захваченным электроном $[(V_a)^{++} e]$ (аналог F -центра). Этот центр, видимо, формируется в процессе приготовления пленок MoO_3 различной толщины на стеклянных подложках. Глубина залегания $[(V_a)^{++} e]$ -центра составляет $E_T^1 = 3.54$ эВ. Наблюдаемые изменения на экспериментальных спектрах поглощения систем $Vi - MoO_3$ по сравнению с рассчитанными, видимо, связаны с формированием перехода $Vi - MoO_3$.

Мы полагаем, что уменьшение оптической плотности в диапазоне $\lambda = 300-610$ нм и, как следствие, смещение края поглощения в коротковолновую область, а также увеличение оптической плотности в диапазоне $\lambda=610 - 1100$ нм с максимумом при $\lambda=870$ нм в процессе приготовления систем $Vi-MoO_3$ взаимосвязанные процессы. В процессе установления термодинамического равновесия из-за несоответствия работ выхода MoO_3 и Vi электроны из висмута переходят в оксид молибдена (VI), на уровне некоторых $[(V_a)^{++} e]$ – центров с формированием $[e (V_a)^{++} e]$ - центра [18]

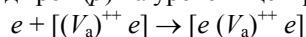


где, $(V_a)^{++}$ – анионная вакансия.

Преобразование $[(V_a)^{++} e]$ -центра можно осуществить путем перевода электрона с уровня залегания центра на дно зоны проводимости

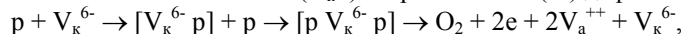


(для обеспечения этого процесса потребуется энергия E_{T1}) либо путем перевода электрона с потолка валентной зоны с образованием дырок (p) на уровень центра

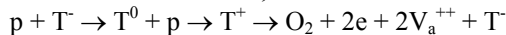


(для обеспечения этого процесса потребуется энергия $E = E_{шзз} - E_{T1}$, где $E_{шзз}$ – термическая ширина запрещенной зоны MoO_3).

Дырки могут захватываться собственными (V_k^{6-}) и примесными (T^-) дефектами



где V_k^{6-} и V_a^{++} – катионная и анионная вакансии,



с выделением кислорода и освобождением анионных вакансий.

Анионные вакансии будут взаимодействовать с электронами переходящими из висмута с формированием центров T_1 и T_2



Увеличение концентрации электронов со стороны MoO_3 в состоянии термодинамического равновесия системы $Vi-MoO_3$ во-первых обеспечивает превращение части центров T_1 в центры T_2 в пленке MoO_3 и во вторых должно привести к увеличению скорости термостимулированного процесса превращения оставшихся центров $[e (V_a)^{++} e]$ в центры $[e (V_a)^{++} e]$.

Наблюдаемые закономерности изменения висмутом оптических свойств MoO_3 соответствуют изложенной модели процессов.

Литература.

1. Третьяков Ю.Д. Химия нестехиометрических окислов. М.: Изд-во Московского ун-та, 1974. 364 с.
2. Лазарев В.Б., Соболев В.В., Шаплыгин И.С. Химические и физические свойства простых оксидов металлов. М.: Наука, 1983. 239 с.
3. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2009. 414 с.
4. Елисеев А. А., Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы. / Под ред. Ю.Д. Третьякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 456 с.
5. Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы. М.: БИНОМ. 2008. 365 с.
6. Халманн М. Энергетические ресурсы сквозь призму фотохимии и фотокатализа. М.: Мир, 1986. С. 578.
7. Андреев В.Н., Никитин С.Е. // Физика тв. тела. 2001. Т. 43. № 4. С. 755.
8. Arnoldussen Thomas C. // J. Electrochem. Sol.: Solid-State Science and Technology. 1976. V. 123. P. 527.
9. Польшваный И.Р., Абланов А.Д., Батырбекова С.А. Висмут. Алма-Ата: Наука, 1989. 316 с.
10. Денисов В.М., Белоусова Н.В., Моисеев Г.К. и др. Висмутсодержащие материалы: строение и физико-химические свойства. Екатеринбург: Уро РАН, 2000. 527 с.
11. Суевой Э.П., Бугерко Л.Н. Суевая В.Э. Кинетические закономерности взаимодействия наноразмерных пленок висмута с аммиаком // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 6. С. 1020-1026.
12. Суевой Э.П., Бугерко Л.Н., Борисова Н.В., Суевая В.Э., Рамазанова Г.О. Закономерности фотостимулированных превращений в наноразмерных пленках MoO_3 // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87. № 12. С. 2105 – 2109.

13. 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.
14. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н. Термостимулированное газовыделение из систем азидов серебра – металл // Химическая физика. 2002. Т. 21. № 7. С. 74 – 78.
15. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Суrowая В.Э. и др. Кинетические закономерности термических превращений в наноразмерных пленках висмута // Журн. физ. химии. 2012. Т. 86. № 4. С. 702 – 709.
16. Суrowой 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.
17. Школьник А.Л. // Известия АН СССР. Серия «Физика». 1967. Т. 31. № 12. С. 2030.
18. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. Термопревращения в наноразмерных слоях MoO_3 // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 11. С. 2120-2125.

МОДЕРНИЗАЦИЯ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

*Р.С. Федюк, преподаватель, А.М. Тимохин, начальник отдела, З.А. Муталибов, начальник цикла
Учебный военный центр Дальневосточного федерального университета
690090 г. Владивосток, ул. Суханова, 8
E-mail: roman44@yandex.ru*

Президент России провозгласил в 2006 г. энергетическую безопасность России ключевым вопросом развития экономики России. Важнейшим элементом энергетической безопасности является снижение расхода энергии в сфере потребления [1]. Одной из наиболее энергоёмких отраслей экономики страны является капитальное строительство. Система теплоснабжения только гражданских зданий потребляет до 30% добываемого в нашей стране твердого и газообразного топлива [2]. Отечественные дома, теплотрассы, производственные помещения в самом прямом смысле обогревают атмосферу (до 70% тепловой энергии, получаемой зданием, отдаётся в атмосферу) [3]. Для снижения нагрузки на систему теплоснабжения необходима оптимизация конструкций с точки зрения энергоэффективности и теплозащиты, которая возможна только при использовании слоистых ограждающих конструкций с применением эффективного утеплителя.

Начиная с 90-х гг. XX века в нашей стране возводятся малоэтажные здания с использованием несъемной опалубки из вспененного пенополистирола («Изодом»). Будучи давно известной в странах Запада, эта теплосберегающая домостроительная система в отечественном строительстве не получила развития по ряду причин, связанных в основном с технологическими и эксплуатационными проблемами системы. Суть её в том, что нужная ограждающая конструкция выкладывается из лёгких пустотелых блоков, изготовленных из специального строительного пенополистирола (ППС). Внутренняя часть блока армируется и заполняется бетоном. В результате получается монолитная бетонная стена, изолированная с двух сторон тепло- и звукоизоляционной оболочкой из пенополистирола.

Несмотря на ряд преимуществ, декларируемых в рекламных буклетах, данная технология была разработана для природно-климатических условий Западной Европы (в 60-е гг. XX в). В то же время весьма разнообразные климатические условия регионов Российской Федерации, вызывают необходимость исследования применимости данных конструкций к конкретным региональным природно-климатическим условиям строительства.

Конструкция «Изодом», взятая из опыта зарубежного строительства, должным образом не изучена. Для обоснованного расширения области применения строительного пенополистирола необходимо было организовать и осуществить комплексные исследования теплофизических характеристик самого строительного пенополистирола и эксплуатационных свойств ограждающих конструкций с его применением.

В сухом состоянии пенополистирол обладает высокими теплотехническими качествами. Начальное увлажнение наружных стен в период строительства (бетонные и штукатурные работы), а также увлажнение атмосферными осадками в процессе монтажа и эксплуатации здания могут снизить теплозащитные качества на длительное время [4].

В качестве облицовки наружных стен системы «Изодом» используются различные виды отделок, которые в процессе эксплуатации зданий могут оказывать как положительный (защитный, декоративный), так и отрицательный (способствуют влагонакоплению в конструкциях) эффект. При ускорении процессов влагонакопления и замедлении сушки конструкция работает в неблагоприятных условиях. Повышенная влажность пенополистирола снижает сопротивление теплопередаче ограждения, увеличивает расход энергии на отопление, ухудшает микроклимат помещений, снижает прочность и долговечность зданий.

Под действием разности температур наружного и внутреннего воздуха и солнечной радиации помещение через ограждающие конструкции в зимнее время теряет, а в летнее получает теплоту [5].

В процессе эксплуатации происходит разрушение материалов наружных слоев под действием различных факторов. Скорость и характер разрушения при определенных климатических условиях зависит не только от долговечности наружного отделочного слоя и стойкости материала, но и от сочетания их свойств, влияющих на влажностное состояние конструкции.

В то же время, комплексных и целенаправленных исследований теплотехнических и влажностных параметров системы «Изодом» в российских условиях эксплуатации не производилось.

Следует отметить, что теплофизические свойства различных марок пенополистирола изучены и нормированы. В то же время, в связи с тем, что строительный пенополистирол (чаще всего плотностью около 30 кг/м^3 , но у различных производителей варьируется от 20 до 40 кг/м^3), применяемый для производства несъемной опалубки не является типовым и из-за недостаточной изученности его теплофизических свойств в реальных условиях эксплуатации, данные по теплотехническим показателям строительного пенополистирола, применяемого для производства несъемной опалубки, отсутствуют.

Имеющиеся в настоящее время отрывочные сведения о применении строительного пенополистирола в качестве несъемной опалубки носят рекламный характер и в ряде случаев являются недостоверными и не подтвержденными научными данными (приведены ниже) [6].

Рекламируемые параметры стен «Изодом»

Толщина конструкции, см:

- серия блока 25МСО – 25 см, из которых 15 см – бетон, 10(5+5) см – пенополистирол;
- серия блока 27МСО – 27 см, из которых 15 см – бетон, 12(7+5) см – пенополистирол;
- серия блока 25МСП – 25 см, из которых 15 см – бетон, 10(5+5) см – пенополистирол;
- серия блока 30- и 35МСП – 30 и 35 см, из которых 15 или 20 см – бетон, 10(5+5) см. и 15(10+5) см. – пенополистирол

- серия блок фундамент-лента 60МСП – 30 и 35 см, из которых 40 см – бетон, 20(10+10) – пенополистирол.

Масса (без отделки) – 280-340 кг/м²

Расход бетона – около 0,125-0,14 куб.м на 1 м²

Расход арматуры, до 10 кг/м² (для зданий выше 3-х этажей)

Коэффициент теплопроводности – 0,036 Вт/м·°С

Паропроницаемость – 0,032 мг/м·ч·Па

Влагопоглощение (за 24 часа, по объему) – 0,1%

Акустическая изоляция – 46 Дб

Сопротивление теплопередаче – более 3,2 м²°С /Вт

Предел огнестойкости – II степень, (самозатухающий)

В ходе работы над исследованием были проанализированы материалы и технологии, применяемые крупнейшими российскими производителями пенополистирольной опалубки, и установлено, что единые нормативы на технологию «Изодом» отсутствуют (табл. 1). Из зарубежных нормативных документов выделяется только украинский ДБН В.2.6-6-95 Проектирование, строительство и эксплуатация строительной системы «Пластбау».

Таблица 1

Сравнительные характеристики несъемной пенополистирольной опалубки отечественных производителей

№ п/п	Производитель	Торговая марка	Плотность, кг/м ³
1	ООО «Новый Изодом» (Москва)	Изодом	22-25
2	ООО «СтройПрофиГрупп» (Москва)	Изодом	25-27
3	ООО «Изодом-2000» (Москва)	Изодом-2000	27-30
4	Тихоокеанская строительная компания (Владивосток)	Легодом	25-27
5	Торговый дом «Евростройкомплект»	GNS	35-37
6	ООО «Радомир» (Москва)	Изодом	32-35
7	EPS (Астрахань)	EPS	35-37
8	ООО «Изодом» (Уссурийск Приморского края)	Изодом	25-30
9	«Альфа-плюс» (Воронеж)	Пластбау	25
10	ООО «ТермоДом» (Оренбург)	Термодом	25
11	Производственно-строительная компания «Неомир» (Курск)	Фундаментные блоки из экструзионного ППС	40

В связи с этим вопросы исследований теплотехнических и эксплуатационных свойств монолитных железобетонных наружных стен с применением опалубки из строительного пенополистирола с учетом реальных условий эксплуатации, их влажностного режима в многолетнем цикле и стойкости к знакопеременным температурно-влажностным воздействиям являются весьма актуальными. Решение данных вопросов позволит достичь оптимального уровня теплозащиты, что в конечном итоге приведет к экономии топливно-энергетических ресурсов.

Результаты проведенного комплекса теоретических и экспериментальных исследований были использованы при совершенствовании монолитных стен с применением несъемной опалубки из ППС.

Выявленные недостатки имеющихся конструкций сведены в схему (рис. 1).

В ходе устранения данных недостатков была разработана следующая конструкция (рис. 2), отличия которой от базовой конструкции (описанной выше) в следующем.

Внутренний слой пенополистирола заменен на фибролитовую плиту (толщина 25 мм, плотность 350 кг/м³). Этой заменой решается сразу несколько задач: устраняем контакт ППС с помещением, соответственно решается и вопрос внутренних отделочных и крепежных работ.

Согласно [7], цементный фибролит благодаря малому объемному весу обладает высокими теплозащитными свойствами. Переплетение лентообразных частиц древесной шерсти, связанных и покрытых тонким слоем минерального вяжущего, создает открытую, сильно развитую пористую структуру, что делает фибролит хорошим звукопоглощающим материалом. Учитывая, что теплоизоляционные свойства все же ниже, чем у пенополистирола, наружный слой ППС увеличиваем до 120 мм. Этой заменой решается сразу несколько задач: устраняем контакт ППС с помещением, соответственно решается и проблема внутренних отделочных и крепежных работ.

Наружный слой пенополистирола закрываем железобетонным слоем толщиной 50 мм (на основе судостроительного бетона). Свойства судостроительного бетона достаточно широко изучены (например, [8-9]). Согласно [9] судостроительный бетон относится к высокопрочным бетонам, применяя такой бетон с усиленным армированием можно достигать высокой несущей способности в тонкостенных конструкциях. Следует отметить, что в России судостроительный бетон для защиты наружного слоя пенополистирола ранее не применялся. Имеется лишь опыт украинских строителей [9], применяющих модифицированный судостроительный песчаный бетон для панелей «Сота».

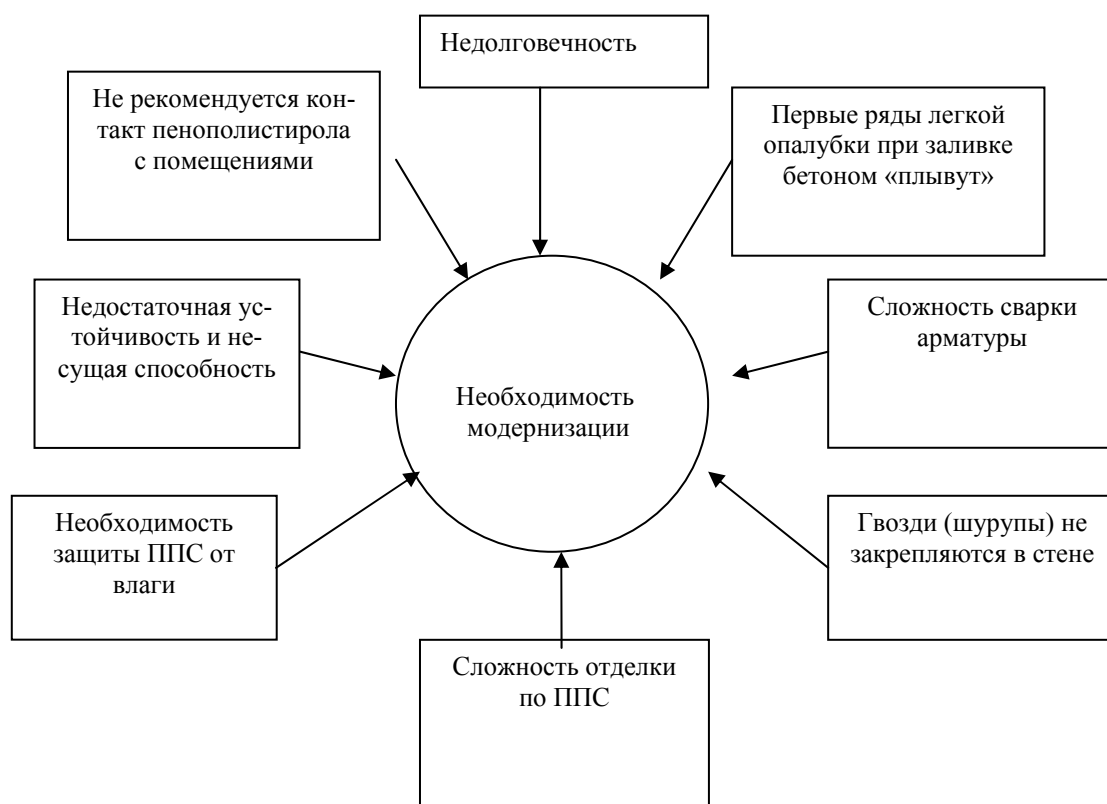


Рис. 1. Необходимость модернизации современных конструкций «Изодом»

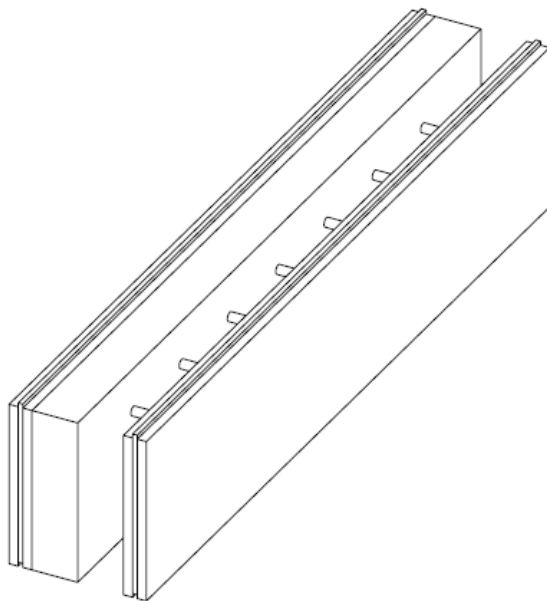


Рис. 2. Разработанный блок несъемной опалубки

стеновых конструкций. Заделка арматуры во внутренний фибролитовый слой осуществлена за счет металлической сетки (ячейки 20 x 20 мм), арматура приваривается к узлам сетки (рис. 3, а). Заделка арматуры в наружный слой из судостроительного бетона осуществлена за счет закладных деталей (рис. 3, б).

Данный железобетонный слой решает сразу несколько задач:

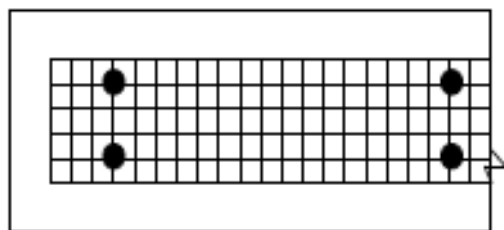
- повышается устойчивость конструкции: не только за счет этого несущего слоя, но и за счет разнесения двух железобетонных слоев на расстояние ширины утеплителя;

- судостроительный бетон герметично защищает пенополистирол от воздействия атмосферных осадков, солнечных лучей;

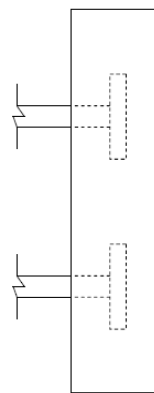
- обеспечивается жесткость пенополистирольной опалубки при заливке бетонной смеси (нижние ряды уже не «плывут»);

- значительно упрощается отделка наружной стороны стены.

Наружный железобетонный слой и внутренний фибролитовый слой соединены стальной арматурой, что упрощает процесс устройства арматурного каркаса



а)



б)

Рис. 3. Закрепление арматуры в бетонных слоях: а – во внутреннем фибролитовом слое, б- в наружном слое из судостроительного бетона

В качестве утеплителя применен экструзионный пенополистирол ЭППС, что позволяет значительно повысить долговечность конструкции .

Литература.

1. Матросов Ю.А. Энергоэффективность и экология – основа современных требований к теплозащите зданий // АСADEMIA, 2009. №5, - С. 283-290.
2. Береговой А.М. Здания с энергосберегающими конструкциями: дис. ... докт. техн. наук. Пенза. 2005. – 344 с.
3. Баталин Б.С., Евсеев Л.Д. Эксплуатационные свойства пенополистирола вызывают опасения // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений» [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <http://www.pamag.ru/pressa/exp-penopol>
4. Рузиев Н.Р. Тепловая эффективность панельных стен из поризованного керамзитозолобетона: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1984

5. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с : ил.
6. Технология строительства «Изодом» [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <http://www.izodom.ru/tehnologia.html>
7. Уайт Дж. Л. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины // Пер. с англ. яз. . – СПб.: Профессия, 2007.- 256 с.
8. Kunzel H.M, Kunzel H., Sedelbauer K. Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Warmedamm-Verbundsystemen // Bauphysic, 2006, Bd. 28, N.3
9. Gausepohl H., Gellert R. Polystyrol // Kunststoff Handbuch 4. S. 563-715. Hauser. 1996

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Al – ZrW₂O₈

В.С. Шадрин, магистрант, Е.С. Дедова, инженер, С.Н. Кульков*, д-р. ф.-м. н., проф.*

Национальный исследовательский Томский государственный университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. 8-906-958-08-23

E-mail: vshadrin91@gmail.com

**Институт физики прочности и материаловедения, г. Томск,*

634021, г. Томск, пр. Академический 2/4, тел. (3822)28–68–29

Разработка новых композиционных материалов, обладающих высокими прочностными характеристиками, является одним из перспективных направлений развития современного материаловедения. Упрочнение металлических материалов дисперсными частицами позволяет качественно повысить механические свойства композитов. Введение частиц, обладающих отрицательным коэффициентом теплового расширения (КТР), в металл позволяет реализовать не только дисперсное упрочнение материала, но и увеличить его прочность за счет формирования внутренних сжимающих напряжений, вызванных разностью коэффициентов теплового расширения исходных компонентов. В связи с вышесказанным, вольфрамат циркония является перспективным материалом благодаря изотропно-отрицательному КТР равному $-9,6 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ в широком интервале температур.

Целью работы является изучение структуры, фазового состава и механических свойств композиционных материалов Al – ZrW₂O₈.

Материалы и методика

В качестве исходных компонентов для создания композиционных материалов Al – ZrW₂O₈ использовали порошок алюминия (т.ч.) и порошок вольфрамата циркония, полученный отжигом прекурсора $\text{ZrW}_2\text{O}_7(\text{OH}_{1,5}\text{Cl}_{0,5}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с выдержкой в течение 1 часа при температуре 570 °С [1]. Количество добавки ZrW₂O₈ в исходной порошковой смеси составляло 0; 0,1; 1 и 10 вес.%. Для изучения свойств материала Al – ZrW₂O₈ производилось прессование образцов на механическом прессе с последующим спеканием при температуре 600 °С в течение 1 часа.

Исследование фазового состава и структурных параметров композиционных материалов осуществлялось на рентгеновском дифрактометре с фильтрованным $\text{CuK}\alpha$ -излучением. Исследование формы и размеров частиц проводилось на растровом электронном микроскопе Philips SEM 515. Испытания на сжатие образцов осуществлялись на испытательной установке «INSTRON – 1185» со скоростью нагружения 0,2 мм/с. Измерение твердости по Виккерсу (HV) проводилось на микротвердометре ПМТ – 3 с нагрузкой на индентор 50 г.

Результаты и обсуждение

Результаты растровой электронной микроскопии полированной поверхности композиционных материалов Al – ZrW₂O₈ показали, что с увеличением содержания ZrW₂O₈ на поверхности образцов наблюдались белые частицы. С ростом массовой доли ZrW₂O₈ средний размер частиц менялся от 0,5 мкм для композита Al – 0,1 вес. % ZrW₂O₈ до 1 мкм в Al – 10вес.% ZrW₂O₈. Распределение частиц по размерам носило унимодальный характер, преимущественное количество частиц находилось в интервале от 0.5 до 1 мкм. Элементный анализ показал, что они содержат атомы циркония (Zr), вольфрама (W) и кислорода (O) в соотношении, удовлетворяющем стехиометрии вольфрамата циркония (Zr:W = 1:2), что соответствует соединению ZrW₂O₈.

Фрагменты рентгенограмм образцов представлены на рис. 2. Видно, что при содержании ZrW₂O₈ менее 1 вес. % присутствовали только максимумы, соответствующие кубической модификации Al, линии ZrW₂O₈ появлялись при концентрации вольфрамата циркония выше 1 вес. %. Введение

10 вес. % ZrW_2O_8 привело к появлению интенсивных рефлексов, принадлежащих вольфрамату циркония. Расчет параметров решетки показал, что в композитах, содержащих 10 вес. % ZrW_2O_8 , у алюминия он равен $4,047 \text{ \AA}$, у ZrW_2O_8 – $9,1298 \text{ \AA}$. Полученные значения отличаются от литературных данных, что может быть обусловлено двумя факторами: микролегированием матрицы вследствие взаимодействия при получении композиционных материалов и наличием остаточных механических напряжений. Если предположить, что причиной разницы значений параметров являются остаточные механические напряжения, то, например, в модели линейно-напряженного состояния можно оценить их величину: напряжения сжатия равные 260 МПа.

На рис. 3 показана зависимость предела прочности при сжатии полученных композиционных материалов от содержания вольфрамата циркония. Для образцов из чистого алюминия предел прочности составил 125 ± 10 МПа. Введение 0,1 вес. % вольфрамата циркония привело к росту предела прочности, который составил 155 МПа. Дальнейшее увеличение содержания вольфрамата циркония способствовало резкому уменьшению величины предела прочности. Вероятно, снижение механических свойств связано с ростом пористости в композиционном материале, обусловленное увеличением содержания вольфрамата циркония в металлическую матрицу. На рис. 4 представлена зависимость предела прочности от пористости. Видно, что с возрастанием пористости значение σ уменьшалось.

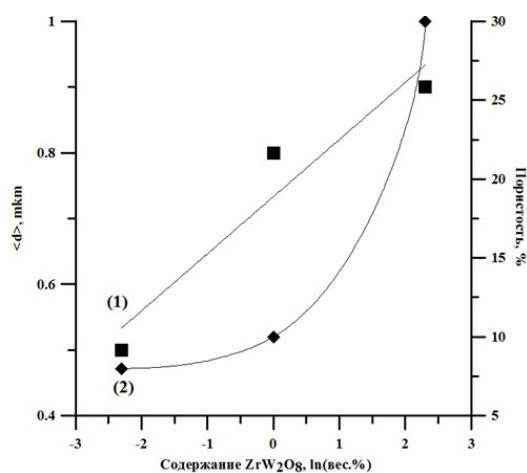


Рис. 1. Зависимость размера частиц (1) и пористости (2) в Al – 10 вес. % ZrW_2O_8 от содержания ZrW_2O_8

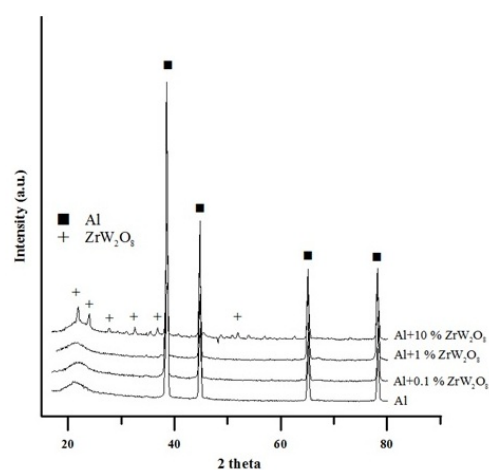


Рис. 2. Рентгенограммы алюминия и композиционных материалов Al – ZrW_2O_8

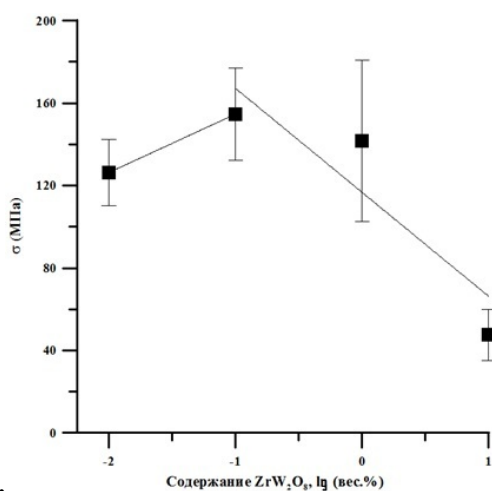


Рис. 3. Зависимость предела прочности от содержания ZrW_2O_8

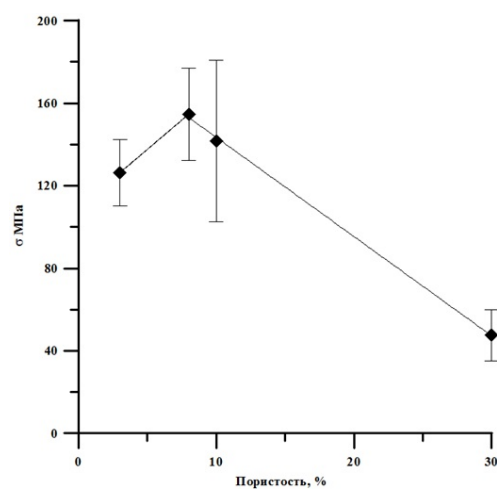


Рис. 4. Зависимость предела прочности от пористости

Заключение

Фазовый состав композиционных материалов Al – ZrW₂O₈ представлен кубической модификацией вольфрамата циркония и алюминием. Несоответствие между вычисленными значениями параметров решетки ZrW₂O₈ и Al по сравнению с литературными данными может быть обусловлено двумя факторами: действием микролегирования матрицы вследствие взаимодействия алюминия и вольфрамата циркония при получении композиционных материалов и остаточными механическими напряжениями. Показано, что введение 0,1 вес. % вольфрамата циркония в качестве добавки приводит к повышению механических свойств на 25 % композитов Al – ZrW₂O₈ по сравнению с аналогичными свойствами чистого алюминия

Литература.

1. Дедова Е.С. Исследование фазовых превращений при синтезе вольфрамата циркония / Е.С. Дедова, А.И. Губанов, С.Н. Кульков // Известия высших учебных заведений. Физика.– 2013. – №10/2.
2. Химическая энциклопедия. В 5-ти т. / Редкол.: Кнунянц И. Л. (гл. ред.). – М.: Советская энциклопедия, 1988. – Т. 1. – С. 116. – 623 с.
3. Negative Thermal Expansion from 0.3 to 1050 Kelvin in ZrW₂O₈ / T.A. Mary [et al.] // Science. –1996. –vol. 272. – P. 90 – 92.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И ДИНАМИКИ ТМ В СИСТЕМЕ «СНЕГ – ПОЧВА»

А.А. Трофимова, студент гр. 17Г00, В.Ф. Торосян, к. пед.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

E-mail: torosjaneno@mail.ru

Выбросы вредных веществ в атмосферу в городах составляют сотни и тысячи тонн. Наличие коррелятивных зависимостей между их содержанием в атмосфере, снеге и почве позволяет использовать эти компоненты для экспрессной экологической индикации загрязнений урбанизированных территорий. В снежном покрове депонируются осаждающиеся из атмосферного воздуха твердые и аэрозольные частицы загрязняющих веществ [1]. При таянии снега осуществляется транзит поллютантов в водотоки и почвенный покров.

Данное исследование посвящено актуальной проблеме – изучению состояния окружающей среды через экологический контроль за загрязнением снежного покрова и почвы.

Объектом исследования являются снежные и почвенные покровы территории города Юрги.

Предметом исследования являются особенности распределения тяжелых металлов: Zn, Cd, Pb, Cu в снежном и почвенном покровах территории города Юрги.

Целью работы является выявление динамики загрязнения снежного и почвенного покровов тяжелыми металлами: Zn, Cd, Pb, Cu на территории города Юрги.

Наиболее интенсивно процесс загрязнения окружающей среды идет на урбанизированных территориях, которые занимают в настоящее время около 2% земной суши, но проживает на них половина населения Земли – порядка 3,3 млрд. чел. Длительное время термин «Урбанизация» означал, прежде всего, рост численности городского населения и значения городов. Современное понимание термина включает в себя и экологический аспект. К этому числу урбанизированных территории относится город Юрга с численностью населения 83 841 человек (2010) и площадью территории около 4,5 тысяч гектар. Город Юрга находится на территории Западно-Сибирского региона, где первый снег выпадает в октябре, он неустойчив и при возврате тепла сходит. В середине ноября устанавливается постоянный снежный покров. Снегонакопление идет постепенно на 12-20 см в месяц и к моменту интенсивного снеготаяния высота снежного покрова составляет более 70 см. К концу зимы почва промерзает на глубину более ста сантиметров. Снежный покров сходит 15-20 апреля. Снеготаяние начинается со второй декады марта. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова 165-175 дней.

Снежный покров как естественный планшет – накопитель даёт достаточно объективную величину атмосферного выпадения. Большую часть года в городе Юрга преобладают юго-западные ветра. Летом преобладают ветра северо-западного направления. Средняя скорость ветра 3-5 м/с. Дальность распространения и уровни загрязнения атмосферы зависят от мощности источника, условий выбросов и метеорологических параметров. С удалением от источников загрязнения происходит их рассеивание.

На каждой территории отбирались пять проб удаленных друг от друга на 10-20м. Керны снега потом транспортировали в лаборатории. Анализ осуществлялся по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85; ГОСТ 17.4.4.02-84 методом инверсионной вольтамперометрии на приборе ТА-4. Пробы почвенного покрова отбирались точечным методом конверта. Из точек контролируемого участка, расположенных так, что если мысленно соединить их прямыми линиями, то получается рисунок, запечатанного конверта с длиной стороны 10 см, глубина 10-20 см.

Анализ проб почвы, включая пробоподготовку и количественное определение цинка, кадмия, свинца и меди с помощью электрохимического метода анализа – инверсионной вольтамперометрии (ИВ).

В основе ИВ лежат химические реакции, протекающие под действием электрического тока на электродах, помещенных в анализируемый раствор. При этом ток измеряют в зависимости от напряжения, приложенного к электродам электрохимической ячейки. Приборы – вольтамперометрические анализаторы, позволяют эффективно и точно выполнять измерения концентраций химических элементов в объектах природной среды. Они снабжены программным комплексом VALabTx, выполняющим:

- одновременную обработку аналитических сигналов до шести элементов, зарегистрированных в трех электрохимических ячейках вольтамперометрического анализатора;
- получение четырех форм развертки поляризующего напряжения;
- автоматическое исключение невоспроизводимых кривых;
- три различных режима разметки полученных вольтамперограмм;
- расчет концентрации и метрологические характеристики;
- сохранение, повторение и использование результатов анализа.

Важно отметить, что в результате техногенной деятельности в городах происходит изменение природной геохимической обстановки. Концентрация того или иного элемента, а также геохимическая ассоциация элементов-загрязнителей зависят от характера технологических процессов различных производств, используемого сырья, топлива, а также от соблюдения норм экологической безопасности. Например, оценка содержания ТМ в почвах Западной Сибири в целом проводилась В.В. Ильиным [4].

Современный город представляет собой сложный организм, в котором взаимодействуют различные виды человеческой деятельности, элементы материальной основы и последствия воздействий человека на окружающую природную среду. Производственная и хозяйственная деятельность человека в городах сопровождаются изменениями природных условий. В условиях современного промышленного города претерпевают значительные изменения все компоненты ландшафта: атмосфера (изменение газового состава, аномалии температур, осадков, скоростей и направлений ветра); гидросфера (загрязнение вод, изменение режима поверхностного и подземного стока, создание искусственных водоемов, бетонирование берегов, повышение уровня грунтовых вод за счет перекрытия фундаментами грунтовых потоков); почвы (нарушения при строительных работах, создание искусственных грунтов путем насыпания и намыва); рельеф (планирование поверхностей, застройка, в т.ч. высотная); почва; биота (резкое обеднение флоры и фауны).

В результате формируется специфическая природно-городская экосистема, или урбанозкосистема, которая характеризуется возникновением новых типов искусственно созданных систем в результате деградации, уничтожения и замещения природных систем. Важнейшими компонентами урбанозкосистемы являются: атмосфера, вода и почва, которые значительно трансформируются в условиях города.

В последние годы у нас и за рубежом появились новые классификационные подходы и разработки в отношении антропогенно - преобразованных почв, исходящие из того, что мощные антропогенные нагрузки могут приводить к образованию естественно-антропогенных почвенных и почвоподобных тел.

Все почвы города разделяются на группы почв: естественных ненарушенных, естественно-антропогенных поверхностно преобразованных (естественных нарушенных), антропогенных глубоко преобразованных урбаноземов и техногенных поверхностных почвоподобных образований – урбо-техноземов.

Техногенные выбросы предприятий черной металлургии, которые накапливаются в основном в верхнем слое почвы, по степени экологической опасности для окружающей среды сопоставимы с химической и нефтехимической промышленностью, теплоэнергетикой [5].

Почвенный покров выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений. Снег, в силу высокой сорбционной емкости, содержит высокие

концентрации микроэлементов и может определять степень загрязнения и круг элементов-загрязнителей, переносимых от металлургического предприятия.

Сопоставление содержания тяжелых металлов (ТМ) в снеге и в почве, изучение процесса их миграции в данной системе позволяет выявить значимость функционирования системы «снег-почва» для экологической оценки техногенных выбросов металлургических предприятий, разработать методику расчета миграции элементов (ТМ) Мы решали следующие задачи:

- определение фоновых параметров почвы (т.е. наиболее представительных в отношении индикации долговременного загрязнения)

- определение содержания ТМ в пробах почвы на разных расстояниях от металлургического производства;

-определение содержания ТМ в анализируемых объектах (снег-почва), на одинаковом расстоянии от металлургического производства;

Измерения массовых концентраций цинка, кадмия, свинца и марганца в анализируемых объектах выполняли после предварительного извлечения определяемых элементов из образцов путем приготовления их вытяжек.

Следует отметить, что элементы ТМ относятся к 1-му и 2-му классу опасности и представляют большую угрозу для здоровья человека. Определение ТМ в вытяжках, основано на их способности накапливаться на поверхности рабочих электродов вольтамперометрического анализатора из анализируемого раствора и электрохимически растворяться при определенном потенциале, характерном для каждого элемента. Регистрируемый максимальный анодный ток элемента линейно зависит от концентрации определяемого элемента.

В результате использования инверсионной вольтамперометрии с программным комплексом ValabTX мы определили, что содержание марганца, цинка и свинца в снеге выше ПДК в 5–10 раз.

Всего было проанализировано за 2009 и 2010 годы снега и почвы около 80 проб. В таблице 1 представлены средние значения содержания тяжелых металлов в снеге в мг/л и в почве в мг/кг их ПДК, а так же максимальные и минимальные количества тяжелых металлов в пробах.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в снеге в мг/л и в почве в мг/кг

Снег 2011			Элементы	Снег 2009			Снег 2010			ПДК
max	min	cp		max	min	cp	max	min	cp	
0,05	0,02	0,04	Zn	1,82	0,356	1,2	1,63	0,573	1,2	0,01
0,0002	0,0001	0,000115	Cd	0,005	0,001	0,003	0,008	0,0001	0,004	0,005
0,011	0,004	0,0085	Pb	0,016	0,0035	0,01	0,024	0,0026	0,014	0,006
0,0046	0,0026	0,0035	Cu	0,42	0,082	0,25	0,084	0,028	0,06	0,00

Из анализа данных таблицы 1 следует, что содержание в снеге свинца превышает его ПДК в 2010г, 2009 г и 2011г. ПДК, причем среднее, содержание свинца превышает его ПДК в 2009, 2010 и 2011г. в 2 раза. Среднее содержание Cd находится в пределах ПДК. Однако его присутствие оказывает на организм человека большое токсичное действие.

В таблице 2 представлены сезонные результаты количественного содержания Zn, Cd, Pb и Cu в пробах почвы, взятых весной 2009, 2010 г (после схода снега) и осенью 2010 г (перед установлением снежного покрова) Из таблицы видно, что содержание (валовое) ТМ в почве весной выше, чем осенью.

Причем содержание кадмия весной превышает его содержание осенью в 3 раза, а свинца приблизительно в 1,5 раз. Однако в 2009 г содержание всех ТМ в почве посезонно весна-осень 2009–2010 г не превышала ПДК.

Содержание Zn, Cd, Pb и Cu в пробах почвы

Элементы	ПДК	Почва весна 2009			Почва весна 2010			Почва осень 2010		
		min	max	cp	min	max	cp	min	max	cp
Zn	220	21,9	97,9	60,1	41,5	58,3	50,1	15,7	77,7	46,7
Cd	2	0,239	0,724	0,5	0,261	0,724	0,493	0,1	0,2	0,15
Pb	130	4,14	40,1	22,12	12,8	21,4	17,14	12,6	16,2	14,4
Cu	132	7,61	57,2	32,41	0,474	5,32	3,2	8,93	17,9	13,42

В почве промышленной зоны завода Юрмаш и завода Технониколь содержание кадмия весной 2009, 2010 гг. превышало его содержание осенью 2010 (примерно в 5 раз). Содержание свинца в почве промышленной зоны завода Юрмаш и завода Технониколь весной 2009, 2010 гг. в 5 раз превышало его содержание в почве парка, которое мы приняли за фоновое.

В данной работе представлены результаты исследований за 2009-2011 годы. Результаты анализов содержания ТМ и их динамики в системе "снег-почва" за 2012-2013 годы находятся на стадии обработки.

Литература.

1. Артемов А.В. Сравнительный анализ антропогенного загрязнения снежного покрова и гидросферы урбанизированных ландшафтов. // Экология человека – 2003 г. - № 4. – с. 35
2. Федорова М.З., Кучменко В.С., Воронина Г.А. Экология человека: культура здоровья. – М.: Вентана-Граф, 2007 г.
3. Зарина Л.М., Нестеров Е.М., Пискунова М.А. Мониторинг поведения тяжелых металлов в снежном и почвенном покровах центральной части Санкт-Петербурга // Ж. «Вестник Московского государственного областного университета». Серия «Естественные науки» – №1. – 2009 (февраль). – С.27-34 (0,5/0,4).
4. Ильин В.В. ТМ в почвах Западной Сибири // Почвоведение. 1987 №11 С.87-94
5. Девисилов В.А. «Российский приоритет — человеческий капитал» / ж. Безопасность в техносфере» №2 2008.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА

Л.Ш. Латыпова, студент гр. 17Г10, В.Ф. Торосян, к. пед.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

E-mail: torosjaneno@mail.ru

Металлургические шлаки – это основная масса отходов металлургических процессов. Они являются продуктами высокотемпературного взаимодействия компонентов исходных материалов. Химический состав и структура металлургических шлаков изменяются в зависимости от состава пустой породы, особенностей металлургического производства, условий охлаждения и др. Шлаковый режим, определяемый количеством и составом шлака, оказывает влияние на качество стали, стойкость футеровки и производительность сталеплавильного агрегата. В процессе выплавки стали шлак выполняет несколько важных функций: связывает все оксиды, образующиеся в процессе окисления примесей; служит передатчиком кислорода из печной атмосферы к жидкому металлу; участвует в передаче тепла металлу; защищает металл от насыщения газами, содержащимися в атмосфере печи.

Наибольшее негативное воздействие шлаковые отвалы оказывают на водные объекты – подземные и поверхностные воды. С поверхностным стоком загрязняющие вещества поступают в поверхностные воды реки, изменяя их химический состав, увеличивая концентрацию сульфат-иона, железа общего, марганца и др.. Атмосферные осадки инфильтруются через тело отвала, насыщаются водорастворимыми компонентами и загрязняют грунтовые воды.

Целью работы является исследование гидравлической активности электрометаллургического шлака по результатам экспериментальных данных выявления эмиссий ионов тяжелых металлов (ТМ) Mn^{2+} и Fe^{3+} в модельные среды. Модельные водные среды – это 300мл H_2O дистиллированной и 150 г шлака. В результате исследования эмиссии ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} в модельном растворе с $pH = 4,8$

можно выявить их кинетические зависимости, а следовательно гидравлическую активность металлургического шлака.

Эксперимент проводился в статическом режиме в течение 30 суток. Анализ содержания Mn^{2+} и Fe^{3+} выполнялся на 2-е, 4-е, 6-е, 9-е и 30-е сутки. Количества эмиссионных ионов Mn^{2+} и Fe^{3+} в растворе определялись методом фотоколориметрии

Водная вытяжка из тела отвала шлака характеризуется щелочной реакцией среды ($pH=9,5-12,5$), высокой общей минерализацией.

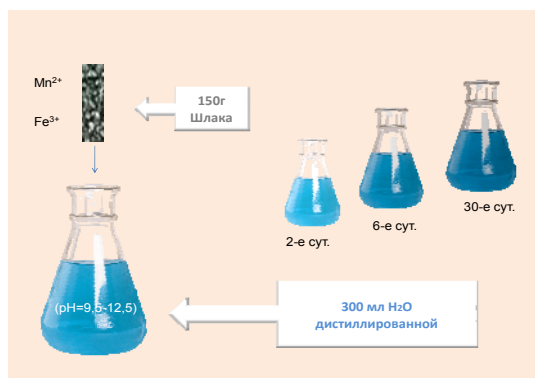


Рис. 1. Модельный водный раствор

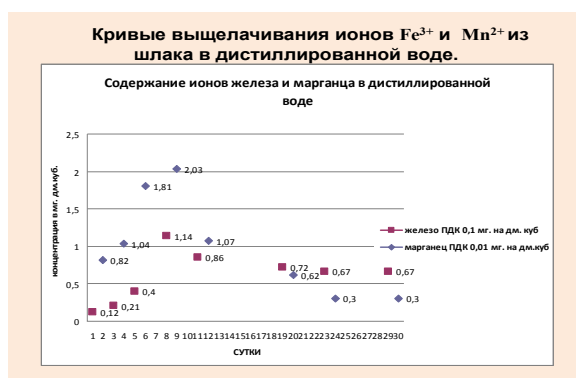


Рис. 2. Выщелачивание ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} в дистиллированной воде

Результаты исследования эмиссии ТМ в дистиллированную воду представлены на рис 2.

В результате экспериментов, установлено, что кривые выщелачивания ТМ имеют ярко выраженный экстремальный характер, что можно объяснить следующим образом. В первые 2-е суток наряду с ионами ТМ происходит выделение из образцов ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , сульфидов, приводящее к повышению pH среды и образованию в дальнейшем труднорастворимых гидроксидов $Ca(OH)_2$, $Mn(OH)_2$, $Fe(OH)_2$, $Mg(OH)_2$ и сульфидов MnS , CaS , $CrOHs$ и др. ТМ. Вследствие чего происходит связывание ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} и образование нерастворимых соединений. Это подтверждается понижением содержания ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} в растворе одновременно на 9-е сутки.

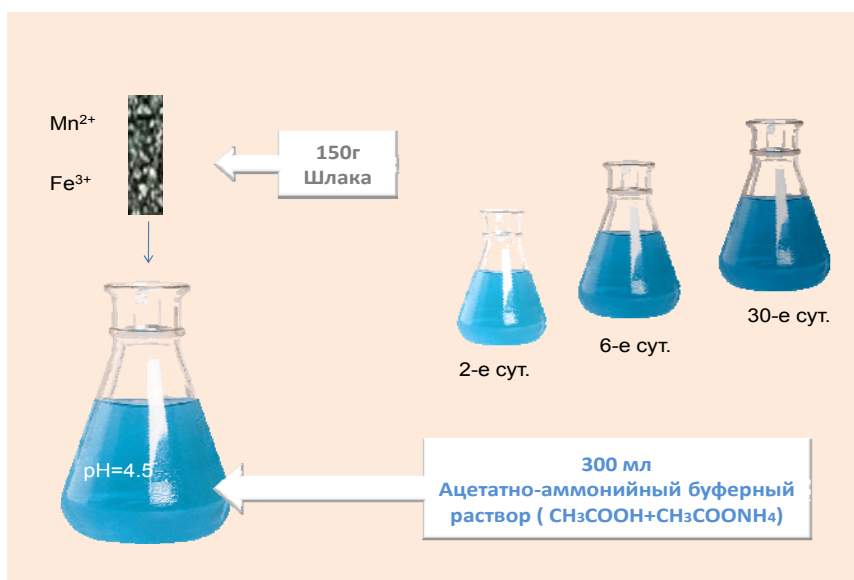


Рис. 3. Модельный ацетатно-аммонийного буферный раствор $CH_3COOH+CH_3COONH_4$

Мы проводили также исследования эмиссии ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} в растворе ацетатно-аммонийного буферного раствора $CH_3COOH+CH_3COONH_4$ (уксусная кислота и ацетат аммония) $pH=4,8$, который имитировал агрессивную среду. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Эмиссия ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} в ацетатно-аммонийном буферном растворе $\text{CH}_3\text{COOH}+\text{CH}_3\text{COONH}_4$

Сутки	Концентрация мг/дм ³	
	Fe^{3+}	Mn^{2+}
2		
4	0,07	0,06
6	0,12	0,15
9	0,18	0,20
10	0,29	0,28
12	0,30	0,47
15	0,30	0,82
24	0,30	0,82
30	0,30	0,82
	0,30	0,82

Результаты анализа эксперимента показали, что эмиссия ионов Fe^{3+} в течение 10 суток возрастала, а Mn^{2+} в течение первых 12 суток возрастала, а затем оставалась постоянной. Т.к. в кислой среде, очевидно, не образовывались малорастворимые соединения. Fe^{3+} и Mn^{2+} .

Рассчитывая значения константы скорости реакций эмиссии исследуемых металлов в буферный раствор по формуле $K = \frac{1}{t} \ln \frac{C_0}{C}$, подставляя в нее данные эксперимента, мы убедились, что

полученные значения константы скорости мало отличаются друг от друга. Мы вычислили также среднее значение константы скорости реакции. В результате можно утверждать, что исследуемые реакции эмиссии ТМ в буферном растворе подчиняются кинетической зависимости первого порядка табл. 2, 3.

Кривые выщелачивания ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} из шлака в буферном растворе.

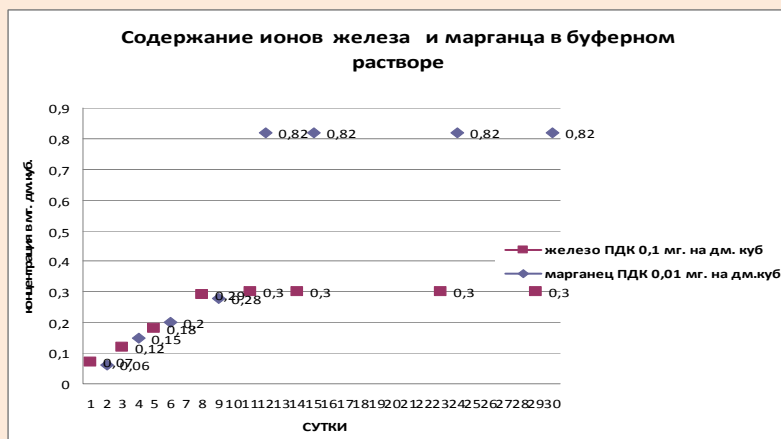


Рис. 4. Выщелачивание ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} в ацетатно-аммонийном буферном растворе $\text{CH}_3\text{COOH}+\text{CH}_3\text{COONH}_4$

Таблица 2

Кинетическая характеристика эмиссии ионов Fe^{3+} из шлака в агрессивной среде (pH = 4,8)

Показатель	Время, сутки								
	2	4	6	9	10	12	15	24	30
	Железо, Fe^{3+}								
Концентрация, мг/дм ³	0,07	0,12	0,18	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
$\ln C$	-2,66	-2,12	-1,72	-1,24	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
Кинетическое уравнение	$\ln C = -2,66 + 0,14t$								

Таблица 3

Кинетическая характеристика эмиссии ионов Mn^{2+} из шлака в агрессивной среде (pH=4,8)									
Показатель	Время, сутки								
	2	4	6	9	10	12	15	24	30
	Марганец, Mn^{2+}								
Концентрация, мг/дм ³	0,06	0,15	0,20	0,28	0,47	0,82	0,82	0,82	0,82
Ln C	-2,81	-1,9	-1,61	-1,27	-0,76	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20
Кинетическое уравнение	$LnC = -2,81 + 0,2t$								

В результате исследовательского эксперимента было выявлено, что эмиссия ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} в модельном растворе с pH = 4,8 подчиняется кинетической зависимости первого порядка, причем скорость эмиссии Mn^{2+} выше скорости эмиссии Fe^{3+} .

Моделирование процессов эмиссии ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} в различные водные среды позволило выявить кинетические зависимости, необходимые для экологической оценки и прогноза воздействия шлакоотвалов металлургического производства на объекты гидросферы.

Литература.

1. Г.М. Рогов, О.Д. Лукашевич, В.К. Попов, Водно-экономические проблемы г. Томска в контексте экологической безопасности. Безопасность жизнедеятельности. – 2008. - № 1 – с.25-29.
2. Фюлленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию / Г. Фюлленберг; Пер. с нем. А. В. Очкина; Под ред. К. Б. Заборенко. – М.: Мир, 1997. – 232 с.

ЗЕЛЁНАЯ ХИМИЯ КАК НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРОЦЕССАМ

*Н.Ж. Чакылдаков, студент гр. 10А31, Л.Г. Деменкова, ст. преподаватель
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-44-32
E-mail: lar-dem@mail.ru*

В современной науке происходит интенсивное развитие такого направления, как зелёная химия. Это направление обуславливает кардинально новые подходы к химии, как науке, которая может обеспечить разработку путей синтеза, производственные процессы, а также использование получившегося химического продукта с наименьшим экологическим ущербом. Объектами изучения зелёной химии являются идеальные процессы, идеальные пользователи и идеальные продукты. Основными критериями идеального химического процесса являются: безопасность, возобновляемость ресурсов, одна стадия получения, 100% выход продукта, нулевые потери, рациональность, простота выделения продукта, допустимость по отношению к окружающей среде [1]. Зелёная химия принимает участие в решении глобальных проблем, стоящих перед человечеством и решаемых с точки зрения химии: ситуация в атмосфере (источники её загрязнения, смог как источник фотохимического загрязнения, кислотные осадки, разрушение озонового слоя, глобальное потепление); проблемы в гидросфере (её загрязнение, недостаточное количество питьевой вода, технологии опреснения морской воды); загрязнение почв и их истощение, уничтожение пахотного слоя; проблемы в энергетике (энергетический кризис, ископаемое топливо, поиск возобновляемых источников энергии); ситуация с народонаселением планеты (контроль численности, проблема голода, здоровье и медицинская химия) [3]. Зелёная химия, пользуясь своими методами и подходами, в конечном счёте способствует росту качества жизни, благосостояния и устойчивому развитию человечества в целом, обеспечивает не только охрану окружающей среды, но и восстановление возобновляемых природных ресурсов. Основная задача зелёной химии как науки – открытие, разработка и использование химических продуктов и процессов, минимизирующих или исключаящих полностью использование и образование токсичных для природы и человека реагентов.

Зелёная химия базируется на двенадцати принципах [2]. Первый – упреждение: лучше изначально не допускать образования отходов, чем заниматься их переработкой или уничтожением. Второй – экономия атомов: методы синтеза должны разрабатываться таким образом, чтобы в состав конечного продукта включалось как можно больше атомов реагентов, использованных в ходе синтеза.

Третий – снижение опасности процессов и продуктов синтеза: во всех практически возможных случаях следует стремиться к использованию или синтезу веществ, не токсичных или мало токсичных для человека и окружающей среды. Четвёртый – конструирование «зелёных» материалов: технологии должны обеспечивать создание новых материалов, обладающих наилучшими функциональными характеристиками и наименьшей токсичностью. Пятый – использование менее опасных вспомогательных реагентов: использования вспомогательных реагентов (растворителей, экстрагентов и т.д.) в процессах синтеза следует по возможности избегать. Если это невозможно, ключевым является параметр токсичности. Шестой принцип – энергосбережение: следует отдавать себе отчет в экологических и экономических последствиях, связанных с затратами энергии в химических процессах. Желательно осуществлять процессы синтеза при комнатной температуре и атмосферном давлении. Седьмой – использование возобновимого сырья: во всех случаях, когда это технически возможно и экономически допустимо, следует отдавать предпочтение возобновимому сырью. Восьмой – уменьшение числа промежуточных стадий: следует минимизировать или вообще отказаться от ненужных промежуточных производных (блокирующие группы, протекторы, промежуточные модификаторы физических и химических процессов), поскольку промежуточные стадии сопряжены с генерацией дополнительных отходов и с потреблением реагентов. Девятый принцип – использование каталитических процессов: каталитические процессы (с возможно большей селективностью) предпочтительнее по сравнению со стехиометрическими реакциями. Десятый принцип – биоразлагаемость: химический дизайн продуктов должен обеспечивать их легкую деградацию в конце жизненного цикла, не приводящую к образованию соединений, опасных для окружающей природной среды. Одиннадцатый – обеспечение аналитического контроля в реальном масштабе времени: для предотвращения образования опасных отходов следует развивать аналитические методы, обеспечивающие возможности мониторинга и контроля в реальном масштабе времени. И последний принцип – предотвращение возможности аварий: химические соединения, используемые в технологических процессах, должны присутствовать в формах, минимизирующих вероятность химических аварий (выбросов сильнодействующих ядовитых веществ, взрывов, пожаров).

С точки зрения зелёной химии каждый химический продукт имеет свой импакт-профиль, включающий в себя следующие компоненты: токсичность для окружающей среды и человека, наличие, состав и количество отходов, энергоёмкость, ресурсоёмкость, влияние на глобальное изменение климата, является ли озоноразрушающим веществом, способность к закислению и эфтрофикации [5].

Цель зелёной химии – стремиться к тому, чтобы каждое химическое производство было безотходным, или чистым. Это значит, что производственные процессы должны проводиться так, чтобы сырьё и энергия использовались наиболее рационально и полностью, при этом воздействие, оказываемое на окружающую среду, не нарушало её нормальных процессов функционирования. В таких процессах достигается снижение массы выбрасываемых в окружающую среду токсичных веществ вплоть до полного их уменьшения, а также и объём получаемых неиспользуемых отходов и побочных продуктов.

Одним из главных направлений зелёной химии является разработка методов получения полимеров и полимерных композитов, обладающих специальными функциональными свойствами, ароматических карбо- и гетероциклических полимеров, используемых главным образом в медицине, а также экологически чистых способов получения наиболее широко используемых полимеров – полиэтилена, полипропилена и др. В обозримом будущем, по нашему мнению, следует ожидать научного прорыва именно в этом направлении, т.к. высокотехнологичные отрасли промышленности, бурно развивающиеся в последние годы, требуют решения именно этих задач. Разрабатываются также способы экологически чистого получения полимеров с использованием принципиально новых растворителей и экстрагентов – сверхкритических и ионных жидкостей и др.) [1]. Кроме того, зарубежные исследователи предлагают работы по выявлению механизма активации химических реакций физическими методами (низкотемпературная плазма, микроволновое излучение, ультразвук, кавитация и др.) [4].

Таким образом, все вопросы, которые решает зелёная химия, можно разделить на две большие группы: переработка, утилизация, уничтожение токсичных для человека и природы промышленных отходов с целью снижения или ликвидации их экологического вреда, а также внедрение кардинально новых процессов в промышленности, минимизирующих применение токсичных продуктов или обходящихся совсем без них. Примером последнего является процесс получения каустической соды. С давних пор её получают путём электролиза водного раствора хлорида натрия, при этом в качестве побочного продукта, утилизация которого представляет большую проблему, получается хлор: $\text{NaCl} +$

$H_2O = NaOH + Cl_2$. Для её решения зелёная химия предлагает бесхлорные способы производства, которые, в свою очередь, могут повлиять на другие технологические процессы [1]. В частности, получаемый хлор использовался в производстве поливинилхлорида (ПВХ) – широко используемого для изготовления окон, линолеума, предметов обихода и игрушек. Его положительные качества – прочность, лёгкая формуемость, устойчивость к перепадам температур – не умаляют потенциальной опасности из-за высокого содержания хлора. Кроме того, в процессе получения и утилизации ПВХ выделяется опасное вещество – диоксин. Учитывая, что объёмы производства ПВХ нарастают, следует решать, как избежать грозящей экологической катастрофы. На Западе проблема решается просто – за счёт перевода производства ПВХ в менее развитые страны. Наши учёные предлагают заменить ПВХ на менее опасные полиолефины и уже подобраны металлоценовые катализаторы, которые могут обеспечить их промышленное производство [1].

Учитывая положения, представленные в прогнозе научно-технологического развития РФ на долгосрочную перспективу (до 2030 г.) [6], российские учёные должны реализовать фундаментальный вызов – увеличение значения человеческого капитала, который становится основным фактором экономического развития страны. Конкурентноспособная инновационная экономика полностью зависит от качества профессиональных кадров, уровня их компетентности, развитых социальных связей, способности к сотрудничеству. В сложившейся ситуации зелёная химия, базирующаяся на современных научных исследованиях, должна стать идеологией новых поколений исследователей.

Литература.

1. Зеленая химия в России [Текст] : сборник статей / под ред. В.В.Лунина, Е.С.Локтевой. – М.: Изд-во МГУ, 2008. 312 с.
2. <http://www.nanometer.ru>
3. <http://www.iupac.org/divisions/III/303/index.html>
4. <http://www.iupac.org/publications/pac/2000/7207/index.html>
5. <http://www.iupac.org/projects/2002/2002-029-1-300.html>
6. http://www.csr-nw.ru/upload/file_content_1219.pdf.

ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Д.А. Бобровицкий, студент гр. 10А31, Л.Г. Деменкова, ст. преподаватель
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-44-32
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 перспективного 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 (Fe_3O_4) или феррита (Fe_2O_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, ПАВ 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 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. Используя методики, описанные в литературе [7-8], мы получили стабильную МЖ (золь магнетита Fe_3O_4 , в котором дисперсионной средой является вода, а также этиловый спирт). 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 Тиндаля. 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, тканей, древесного шпона.

Таким образом, МЖ – это перспективный материал, обладающий 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.

Литература.

1. Еремин В.В., Дроздов А.А. Нанохимия и нанотехнологии. – М.: Дрофа, 2009. – 256 с.
2. Контарев А.В., Стадник С.В., Лешуков В.А. Применение магнитных жидкостей // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 10. – С. 67-70.
3. Разумовская И.В. Нанотехнология. – М.: Дрофа, 2009. – 148 с.
4. Сенатская И.И., Байбуртский Ф.С. Жидкость, которая твердеет в магнитном поле // Химия и жизнь. – 2002. – №10. С. 43-47.
5. <http://www.nanometer.ru>
6. <http://dic.academic.ru>
7. <http://magneticliquid.narod.ru/applications/011.htm>
8. <http://khd2.narod.ru/technol/magliq.htm>
9. http://ftiudm.ru/component/option.com_repository.htm

ПРИНЦИПЫ «ЗЕЛЕННОЙ» ХИМИИ КАК ОТРАЖЕНИЕ НОВОГО МЫШЛЕНИЯ

М.В. Пичугина, студент гр. 317290, Л.Г. Деменкова, ст. преподаватель

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-44-32

E-mail: lar-dem@mail.ru

Достижения современной химии так вошли в жизнь человека, что люди, во-первых, не мыслят своей жизни без них, а, во-вторых, очень боятся массированного наступления химии на окружающую среду. В ответ на эту проблему возникло новое направление в химии – «зеленая» химия (с англ. «green chemistry»). Это не имеет отношение к партии «зеленых». Интересно, что некоторые учёные в выборе цвета видят коммерциализацию химии как науки, успешную продажу некоторых разработок и связывают это с общеизвестным цветом долларов [5]. В самом деле, чтобы химия стала «зеленой», требуются абсолютно уникальные технологические процессы, новые вещества-реагенты, альтернативные источники энергии, поэтому продукты разработок специалистов в сфере «зеленой» химии пользуются сейчас большим спросом на рынке товаров. «Зеленая» химия не является частью химической науки, а представляет совершенно новый подход к осмыслению химических процессов, базирующийся на глубоком знании основ химии и технологических процессов химических производств. Иногда в литературе можно встретить мнение, что «зеленая» химия – это другое название экологии [4]. Это в корне неправильно, потому что главная задача экологии – удалять токсичные отходы химических предприятий, а «зеленой» химии – создавать химические процессы без токсичных отходов. Таким образом, «зеленая» химия позволяет увидеть химическую промышленность с позиции гуманного подхода к потребителям. Очевидно, что «зеленая» химия проистекает из идей концепции устойчивого развития. Главные постулаты этой концепции основаны на идее Брундтланда [1]: обеспечение насущных потребностей людей в данный момент не должно принести вред людям будущего, которым неизбежно придётся решать проблемы роста населения планеты, поиска альтернативных источников энергии, обеспечения населения здоровой пищей и чистой питьевой водой, глобального потепления, загрязнений воды, воздуха и почв и др. Анализируя перечисленные проблемы, мы увидим, что без успехов химии не обойтись в решении ни одной из перечисленных проблем. Следовательно, «зеленая» химия представляет собой новую стратегию в проведении химических процессов. Её основные принципы были предложены учёным из США П. Анастасом [3].

Первый принцип: лучше предотвращать образование выбросов и побочных продуктов, чем заниматься их утилизацией, очисткой или уничтожением. Это утверждение можно проиллюстрировать на примерах процессов тонкого органического синтеза, при проведении которых токсичные вещества заменяют на безвредные, которые дают или меньшее количество ненужных побочных продуктов

реакции, или получающиеся побочные продукты можно легко обезвредить. Например, в процессах карбонилирования вместо токсичного фосгена можно применять диметилкарбонат $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{C}=\text{O}$ [1].

Второй принцип: стратегия синтеза должна быть выбрана таким образом, чтобы все материалы, использовавшиеся в процессе синтеза, в максимальной степени вошли в состав продукта. Таким образом, важно, чтобы побочные продукты не получались совсем, тогда и не будет стоять проблема их утилизации. Необходимо также сокращать число стадий производственного процесса. Например, широко применяемое лекарство ибупрофен получается в результате шестистадийного процесса, а недавно был предложен процесс синтеза этого вещества всего в три стадии [2].

Третий принцип: по возможности должны применяться такие синтетические методы, которые используют и производят вещества с максимально низкой токсичностью по отношению к человеку и окружающей среде. Примером проявления этого принципа является получение кумола, который используется только для дальнейшего получения фенола, при этом в качестве катализатора используют AlCl_3 или H_3PO_4 . Процесс требует последующей утилизации кислотных отходов и очистки сточных вод. В настоящее время предложены цеолитные катализаторы, которые лишены этих недостатков. Один из необходимых производственных процессов, заключающийся в конверсии кетона в лактон, как правило, проходил с использованием в качестве окислителя взрывоопасного вещества (металл-хлор-пербензойная кислота). Сейчас разработана кардинально новая методика проведения данного процесса, где в качестве катализатора применяют хлебопекарные дрожжи, а для окисления – воздух [2]. Очевидно, что применение биологического катализатора более экологично, т.к. при этом используется сырьё, которое относится к легко возобновимым.

Четвёртый принцип: производимые химические продукты должны выбираться таким образом, чтобы сохранить их функциональную эффективность при снижении токсичности. Это крайне важно в получении средств борьбы с вредителями и болезнями растений узкоцелевой направленности. Если учёным удастся понять, как происходит процесс борьбы с вредителями и болезнями определенного растительного объекта, то можно будет синтезировать вещества, содержащие необходимые функциональные группы, структурные элементы, уменьшая при этом токсичное действие соединения в целом. В качестве альтернативного варианта «зеленая» химия предлагает и другие механизмы защиты, в т.ч. применение феромонных ловушек для вредителей [2].

В наши дни активно проводятся исследования по разработке биоразлагающихся полимерных упаковочных материалов и хозяйственного текстиля. Например, компанией Дау Кемикал недавно был получен биополимер NatureWorks с использованием молочной кислоты, который используется для упаковки конфет [4]. Такие конфеты можно есть вместе с фантиками, правда, будет ли от этого польза, учёные не сообщают. Есть также разработки, посвящённые применению полимеров на основе полиглутаминовой кислоты, а также производных хитозана и целлюлозы [5].

Пятый принцип: использование вспомогательных веществ (растворителей, экстрагентов и др.) по возможности должно быть сведено к минимуму (нулю). Понятно, что ни растворители, ни экстрагенты не участвуют в получении продукта реакции количественно, хотя процесс с их использованием требует много затрат (изготовление колонн для экстракции и дистилляции, осушка от растворителя, очистка, рециклизация). Кроме того, эти вещества практически всегда горючи, взрывоопасны, токсичны, канцерогенны. Альтернативным растворителем, предлагающимся учёными, являются либо самый экологически чистый растворитель – вода, либо сверхкритический CO_2 . Также появляются разработки производственных процессов, протекающих без использования растворителя [1-2].

Шестой принцип: энергетические расходы должны быть пересмотрены с точки зрения их экономии и воздействия на окружающую среду и минимизированы. Понятно, что при проведении производственных процессов необходимо использовать стандартные, нормальные или близкие к ним температуру и давление. Для ускорения процесса при этом необходимо использовать катализаторы, СВЧ-нагрев, а также теплоту, которая выделяется в результате проходящих экзотермических реакций. В США преподаётся даже наука «Heat management», т.е. управление теплом [3]. В последнее время активно разрабатываются процессы при использовании микроволн в качестве активаторов реакции. Например, вторичные спирты легко и быстро превращаются в кетоны при СВЧ-активации [5]. Все эти меры приведут к экономии электроэнергии.

Седьмой принцип: сырьё для получения продукта должно быть возобновляемым, а не исчерпаемым, если это экономически целесообразно и технически возможно. Как установлено, ресурсы нефти, газа и каменного угля, имеющиеся на планете, могут быть в основном исчерпаны в течение текущего века, поэтому учёные предлагают постепенный переход на растительное сырьё, которое является возобновляемым природным ресурсом. К таким ресурсам можно отнести углекислый газ,

пальмовое масло, целлюлозу, хитин, а также бытовые отходы. В частности, существуют разработки, посвящённые получению поликарбонатов из углекислого газа [1].

Восьмой принцип: вспомогательные стадии получения производных (защита функциональных групп, введение блокирующих заместителей, временные модификации физических и химических процессов) должны быть по возможности исключены. Ряд процессов тонкого органического синтеза, реализуемых в пищевой и косметической промышленности, а также получение лекарственных препаратов, требуют использования защитных и блокирующих групп, которые впоследствии должны быть удалены из продукта реакции. Для того чтобы устранить такие неэффективные стадии производственного процесса, нужно использовать и высокоселективные катализаторы и реагенты. Например, при использовании ферментов – биологических катализаторов достигается особенно высокая селективность процесса.

Девятый принцип 9: каталитические системы и процессы (как можно более селективные) во всех случаях лучше, чем стехиометрические. В последнее время проявляется тенденция к использованию комбинации различных производственных подходов, например, низкотемпературной плазмы, сверхвысокочастотной активации и ферментативного катализа, при этом наблюдаются совершенно новые эффекты (синергизм и др.) [4]. Интерес вызывают процессы в суперкритических жидкостях – воде, аммиаке, олефинах, т.к. в подобных условиях резко увеличивается реакционная способность многих веществ.

СВЧ-катализ в наши дни развивается двумя путями: микроволновое воздействие на катализатор с целью очистки, регенерации и подготовки к использованию, а также использование микроволн непосредственно в ходе реакции как дополнительного источника энергии. В частности, СВЧ-катализ применяется для очистки отходящих газов при работе автомобильных двигателей. Разработаны промышленные процессы, где в качестве катализаторов используется экологически чистый оксид азота (I), при утилизации которого образуется только азот, а также пероксид водорода – недорогой и экологически безопасный окислитель [1]. Большинство процессов являются высокоселективными.

Десятый принцип: производимые химические продукты должны выбираться таким образом, чтобы по окончании их функционального использования они не накапливались в окружающей среде, а разрушались до безвредных продуктов. Конечно, особую актуальность приобретает использование биоразлагаемых веществ, которые разрушаются в результате реакций гидролиза, фоторазложения и др.

Одиннадцатый принцип: вещества и их агрегатное состояние в химических процессах, должны выбираться таким образом, чтобы минимизировать вероятность непредвиденных несчастных случаев, включая утечки, взрывы и пожары. Это очень важно, т.к. химические производства характеризуются высокой степенью травмоопасности. Например, не так давно в Индии (Бхопал) на заводе, принадлежащем США и производящем метилизоцианат, произошла утечка фосгена, что привело к массовой гибели сотрудников и горожан [1]. Позднее учёные разработали другой способ получения метилизоцианата, в котором фосген не использовался [2]. Двенадцатый принцип: нужны аналитические методы контроля в реальном режиме времени с целью предотвращения образования вредных веществ. Ясно, что на любом химическом предприятии необходим он-лайн-мониторинг промышленного процесса, в т.ч. и образования отходов. В наши дни существует множество селективных, высокочувствительных экспресс-методик контроля.

Как сказал один из основоположников «зеленой» химии Р. Хоффманн, химики должны учесть, что несут ответственность перед другими людьми за любое их открытие [2]. Принципы «зеленой» химии позволяют обеспечить высокое качество жизни людей и рост их благосостояния, устойчивое развитие человечества в целом, а также улучшение экологической обстановки на планете.

Литература.

1. Лунин, В.В. Инновационные образовательные программы в области химии. Научно-образовательный центр. «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия» [Текст]: аналитический обзор / В.В. Лунин, Е.С. Локтева, Е.В. Голубина. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 117 с.
2. Локтева, Е.С. Прогресс науки и роль «зеленой химии» в современном мире [Текст]: монография / Е. С. Локтева, В. В. Лунин. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 123 с.
3. Anastas, P.T. Handbook of Green Chemistry [Текст]: монография / P.T.Anastas, J.C.Warner. – New York: Wiley, 2013. – 3476 p.
4. <http://www.monsanto.com/products>
5. <http://www.greenchemistry.ru/popularization>

РАСЧЕТ КРИТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ИНИЦИИРОВАНИЯ ТЭНА С ДОБАВКАМИ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ

И.Ю. Зыков, аспирант, А.В. Каленский, д. ф-м.н. проф., М.В. Ананьева, к.ф.-м.н., с.н.с.

Кемеровский государственный университет

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

E-mail: kriger@kemsu.ru

Создание энергетических материалов, селективно чувствительных к лазерному излучению, с целью получения капсульных составов для оптических детонаторов ведется уже более двух десятилетий. Разработаны оптические детонаторы на основе инициирующих взрывчатых веществ: азидов серебра и свинца, перхлоратов меди, железа, кобальта и др. Недостатком использования таких оптических детонаторов является их высокая чувствительность не только к лазерному импульсу, но и широкому спектру воздействий различной природы (удар, трение, нагрев, радиация и т.д.). Низкая селективность оптических детонаторов на основе инициирующих взрывчатых веществ может приводить к их несанкционированному срабатыванию, поэтому они не получили широкого применения. Одним из основных направлений создания рабочего тела оптических детонаторов в настоящее время является введение в существующие взрывчатые вещества светочувствительных добавок.

Микроочаговая модель теплового взрыва, адаптированная к инициированию конденсированных взрывчатых веществ лазерным излучением, сформулирована в работах [1-3]. Одним из постулатов микроочаговой модели является независимость коэффициента эффективности поглощения света металлическими наночастицами от длины волны излучения, размеров и природы поглощающей частицы (значение коэффициента эффективности поглощения Q_{abs} принимается равным единице). Для корректировки данного предположения в работе [4] проведены расчеты коэффициентов эффективности поглощения света с длиной волны 1064 нм (первая гармоника неодимового лазера) наночастицами металлов в матрицах азида серебра, свинца и пентаэритриттетранитрата (ТЭНа).

Однако для видения более полной картины зажигания необходим учёт спектральной зависимости коэффициента эффективности поглощения. Целью настоящей работы является: расчёт коэффициентов эффективности поглощения наночастицами алюминия в матрице ТЭНа второй гармоники неодимового лазера; расчет зависимости критической плотности энергии инициирования от радиуса наночастиц алюминия в ТЭНе, определение минимальной плотности энергии инициирования ТЭНа излучением первой и второй гармоник неодимового лазера.

Микроочаговая модель теплового взрыва

Предполагается, что попадающий в образец свет претерпевает многократные отражения на границах зерен. В силу хаотичности актов отражения происходит усреднение освещенности по направлениям, что позволяет использовать при расчетах сферическую симметрию [1-5]. Данная модель описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{2}{x} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + k_0 \frac{nQ}{c} \cdot \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right), x > R \\ \frac{\partial n}{\partial t} &= -k_0 n \cdot \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right), x > R \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= \alpha_M \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{2}{x} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right), x < R \\ \frac{\partial n}{\partial t} &= 0, n = 0, x < R \end{aligned} \quad (1)$$

граничное условие при $x = R$ имеет вид:

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

где T – температура, E – энергия активации разложения, k_0 – предэкспонент, Q – тепловой эффект реакции, α и α_M – коэффициенты температуропроводности материалов матрицы и включения R – радиус включения, c и c_M – объемная теплоемкость материалов матрицы и включения, n – доля неразложенного взрывчатого вещества, $J(t)$ – поглощаемая плотность мощности излучения лазерного импульса. При расчетах использованы значения параметров: $c = 2.22$ Дж/(см³К), $c_M =$

2.7 Дж/(см³·К), $E = 165$ КДж/(моль·К) [1], $k_0 = 1.2 \cdot 10^{16}$ с⁻¹ [1], $\alpha = 1.1 \cdot 10^{-3}$ см²с⁻¹, $\alpha_M = 0.97$ см²с⁻¹, $Q = 9.64$ КДж/см³ [6].

Для величины $J(t)$ использовалось выражение:

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

где k_i – эффективная константа скорости, равная $8.25 \cdot 10^7$ с⁻¹ (соответствует длительности импульса на полувысоте 20 нс), Q_{abs} – коэффициент эффективности поглощения, который равен отношению интенсивностей поглощенного и падающего на включение потоков излучения.

Численное решение уравнений модели (1-3) выполнялось на сетке с переменным шагом по координате. Для размеров включений $R \geq 30$ нм шаг в окрестностях включения составлял не более 1/20 толщины прогретого за время импульса инертного вещества ($\sqrt{2\alpha/k_i}$), далее размер ячейки увеличивался по закону геометрической прогрессии таким образом, чтобы слой окружающего материала имел суммарную толщину не менее $5R$. Шаг сетки внутри включения превышал шаг снаружи в $\sqrt{\alpha_M/\alpha}$ раз. Ячейка с границей раздела включение-матрица содержала как слой материалов матрицы, так и включения толщиной в половину шага сетки для каждого вещества.

Полученная после разбиения пространства на ячейки система обыкновенных дифференциальных уравнений решалась методом Рунге-Кутты 1-5 порядка с переменным шагом по времени. Относительная погрешность на шаге интегрирования не превышала 10^{-9} , при этом интегральная относительная погрешность, оцениваемая по точности выполнения закона сохранения энергии, не превышала $2.5 \cdot 10^{-5}$.

Коэффициент эффективности поглощения (Q_{abs}) сферическим включением радиуса R в рамках теории Ми рассчитывался по методике, приведенной в работах [4,7,8]. Проведено варьирование радиуса включения на двух длинах волн – 1064 и 532 нм.

Определение радиуса наиболее опасного включения проводили следующим образом. Вначале рассчитывались зависимость коэффициента эффективности поглощения от радиуса металлических включений на всем исследуемом интервале с частотой 1 нм. Затем рассчитывалась критическая плотность энергии при нескольких значениях радиуса по модели (1-3). Полученные значения критической плотности энергии делились на соответствующие коэффициенты эффективности поглощения. Далее проводилась интерполяция результатов функцией сплайна для оценки положения минимума на зависимости. После этого рассчитывалась критическая плотность энергии в точке предсказанного минимума. Эта процедура повторялась, пока точность определения наиболее опасного радиуса не достигала 1 нм.

Результаты и обсуждение

Рассчитанные в рамках теории Ми зависимости коэффициентов эффективности поглощения Q_{abs} включений алюминия в матрице ТЭНа для длин волн света 1064 и 532 нм от радиуса включений приведены на рис. 1. При расчетах полагалось, что коэффициент преломления ТЭНа составляет $m_0 = 1.54$ и не зависит от длины волны света. Значения коэффициентов преломления алюминия на длине волны 1064 и 532 нм составляли $m_i = 1.67 - 9.12i$ и $0.71 - 5.85i$, соответственно.

Кривые имеют максимум, положение которого определяется, в основном, длиной волны света. При меньших радиусах кривая спадает до нуля, причем в пределе $r \rightarrow 0$ выполняется закон Рэлея. При больших радиусах происходит выход с осцилляциями на плато.

Влияние длины волны в рамках теории Ми связано с тем, что аргументами специальных функций, по которым ведется разложение, являются величины $\rho = 2\pi R m_0/\lambda$ и $m_i \rho/m_0$. Действительная и мнимая части m_i могут изменяться в несколько раз при изменении длины волны [9]. В случае алюминия при переходе от первой ко второй гармонике неодимового лазера действительная часть показателя преломления уменьшается в 2.4, а мнимая в 1.6 раза. В результате действия обоих факторов наблюдается сдвиг максимума эффективности поглощения в сторону малых радиусов включений (рис. 1). Для первой гармоники максимум эффективности поглощения наблюдается при радиусе включения 102 нм, а для второй – 48 нм. Кроме того, возрастает амплитуда максимума от 0.351 на длине волны 1064 нм до 0.490 на длине волны 532 нм. Зависимости $H_1(R)$ для наночастиц алюминия в ТЭНе при длинах волн 1064 и 532 нм приведены на рис. 2.

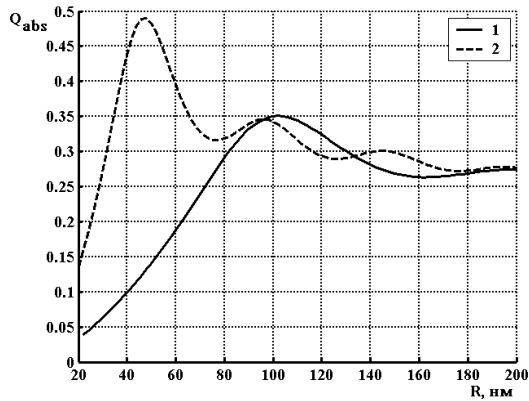


Рис. 1. Рассчитанная зависимость коэффициента эффективности поглощения включениями алюминия от их радиуса при длине волны излучения 1 – 1064, 2 – 532 нм

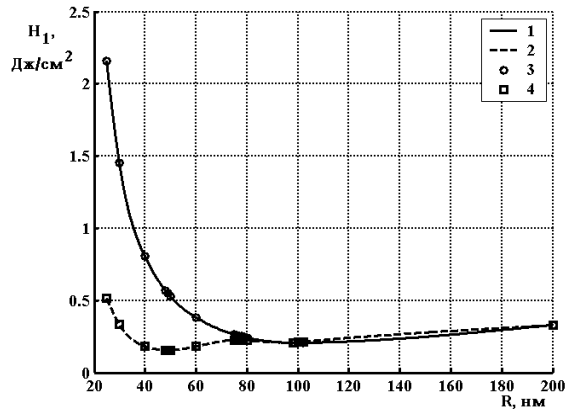


Рис. 2. Рассчитанная зависимость критической плотности энергии иницирования от радиуса алюминиевых включений в матрице ТЭНа при значениях длины волны излучения 1064 (1,3) и 532 нм (2,4). 1, 2 – численное моделирование, 3,4 – сплайн интерполяция

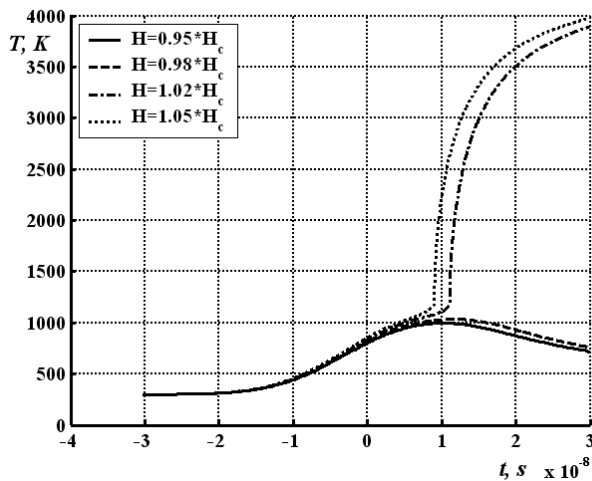


Рис. 3. Кинетика нагрева на границе хром–ТЭН для значений плотности энергии $0.95 \cdot H_c$, $0.98 \cdot H_c$, $1.02 \cdot H_c$, $1.05 \cdot H_c$.

На рис. 3 представлена временная зависимость температуры нагревания образца на границе наночастица – матрица от времени для различных значений плотности энергии. Из рисунка видно, что при значении плотности энергии иницирования меньше критического, 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.

Закключение

В работе рассчитаны значения критической плотности энергии лазерного иницирования ТЭНа, содержащего наноразмерные включения алюминия, на длине волны 1064 и 532 нм. Проведено моделирование зависимости критической плотности энергии лазерного иницирования энергетических материалов от радиуса наноразмерных металлических добавок с учетом рассчитываемых в рамках теории Ми коэффициентов эффективности поглощения света. Показано, что при оценке критической плотности энергии и радиуса наиболее опасного включения следует учитывать как теплофизические, так и оптические характеристики энергетического материала и материала включения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 14-03-00534 А).

Длина волны света, определяющая коэффициент эффективности поглощения, приводит к двум основным эффектам. Во-первых, изменяется глубина минимума на зависимости критической плотности энергии от радиуса включения. Во-вторых, изменяется также положение минимума. В случае алюминиевых включений наименьшая плотность энергии увеличивается с 70.8 (без учета коэффициента эффективности поглощения) до 206.7 ($\lambda=1064$ нм) и 152.6 ($\lambda=532$ нм) мДж/см². Положения минимумов на зависимостях составляют 76, 100 и 49 нм соответственно (рис. 2). Таким образом, модель предсказывает уменьшение критической плотности энергии при уменьшении длины волны импульсного излучения.

Литература.

1. Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, Р.И. Фурега, А.А. Звекон, А.В. Каленский. Взрывчатое разложение ТЭНа с нанодобавками алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны // Химическая физика. – 2013. – Т.32. – №8. – С. 39-42.
2. В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков, А.П. Никитин. Процессы теплопереноса при лазерном разогреве включений в инертной матрице // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – Т.20. – № 3. – С.375-382.
3. A.V. Kalenskii, V.G. Kriger, A.A. Zvekov, E.A. Grishaeva, I.Yu. Zykov, A.P. Nikitin. The Microcenter Heat Explosion Model Modernization // Известия ВУЗов. Физика. – 2012. - Т. 55. - № 11/3. - С.62-66.
4. В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков, Б.П. Адуев. Влияние эффективности поглощения лазерного излучения на температуру разогрева включения в прозрачных средах// Физика горения и взрыва. – 2012. – Т.48. – № 6. – С. 54-58.
5. М.В. Ананьева, А.В. Каленский, И.Ю. Зыков, А.П. Никитин, В.Г. Кригер. Моделирование взрывного разложения ТЭНа в рамках модернизированной модели горячей точки// Известия ВУЗов. Физика – Т. 56 – № 9/3– 2013 – с. 111-114.
6. Ю.А. Лебедев, Е.А. Мирошниченко, Ю.К. Кнобель. Термохимия нитросоединений. – М.: Наука, 1970. – 168 с.
7. М.В. Ананьева, А.В. Каленский, И.Ю. Зыков, А.П. Никитин, В.Г. Кригер. Моделирование взрывного разложения ТЭНа в рамках модернизированной модели горячей точки// Известия ВУЗов. Физика – Т. 56 – № 9/3– 2013 – с. 111-114
8. В.Г. Кригер, А.В. Каленский, М.В. Ананьева, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков. Физико-химические основы микроочаговой модели взрывного разложения энергетических материалов // Известия ВУЗов. Физика – Т. 56 – № 9/3– 2013 – с. 175-181.
9. Никитин А.П. Эффективность поглощения лазерного излучения наноразмерными включениями металлов в зависимости от длины волны // Современные фундаментальные и прикладные исследования. – 2013. - №4(7) - С. 81 – 86.

**РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ ЗОЛОТО-ТЭН И СЕРЕБРО-ТЭН**

И.Ю. Зыков, аспирант, А.В. Каленский, д. ф-м.н., проф., О.В. Одинцова, студент

Кемеровский государственный университет

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

E-mail: kriger@kemsu.ru

Создание энергетических материалов селективно чувствительных к лазерному излучению с целью получения капсульных составов для оптических детонаторов ведется уже более двух десятилетий [1]. Разработаны оптические детонаторы на основе инициирующих взрывчатых веществ: азидов серебра и свинца, перхлоратов меди, железа, кобальта и др. Недостатком использования таких оптических детонаторов является их высокая чувствительность не только к лазерному импульсу, но и широкому спектру воздействий различной природы (удар, трение, нагрев, радиация и т.д.). Основными направлениями создания оптические детонаторы в настоящее время являются синтез принципиально новых взрывчатых веществ и введение в существующие взрывчатые вещества светочувствительных добавок.

Для возникновения взрывного разложения необходимо наличие механизмов положительной обратной связи, которые могут приводить к самоускорению химической реакции. Существует два основных механизма положительной обратной связи: увеличение температуры, приводящее к экспоненциальному росту скорости реакции [2-4], и лавинообразное увеличение неравновесной концентрации реагентов, также приводящее к росту скорости реакции [5-9]. Во втором случае выделяющаяся в элементарном акте энергия частично расходуется на образование активных частиц, что может приводить к развитию реакции по цепному механизму.

В работах [2-4] показано, что добавки сильнопоглощающих наночастиц позволяют значительно снизить критическую плотность энергии лазерного инициирования тетранитратапентаэритрита (ТЭНа). Поглощение энергии излучения наночастицами металлов приводит к быстрому переходу в тепло за времена порядка пикосекунды. Из этого следует, что действие излучения на такие системы может приводить к появлению малых очагов разогрева, которые становятся центрами инициирования взрывного разложения. К данным системам применима микроочаговая модель теплового взрыва.

В работах [10-11] в рамках теории Ми рассчитаны значения коэффициентов эффективности поглощения первой гармоникой неодимового лазера включениями ряда металлов в азидах серебра, свинца и ТЭНа. Показано, что стабильные наночастицы золота и серебра слабо поглощают на длине волны 1064 нм, и не могут быть использованы в составе капсулей оптических детонаторов на этой длине волны [10]. В дальнейшем экспериментально и теоретически показано, что использование второй гармоники неодимового лазера приводит к увеличению чувствительности композитных составов ТЭНа-алюминий [2].

Цель работы: в широком спектральном диапазоне оценить в рамках теории Ми коэффициенты эффективности поглощения лазерного излучения наночастицами золота и серебра в матрице ТЭНа, определить перспективность составов для использования в качестве капсулей оптических детонаторов.

Коэффициент эффективности поглощения (Q_{abs}) сферическим включением радиуса r в рамках теории Ми рассчитывается как разность коэффициентов эффективности экстинкции (Q) и рассеяния (Q_{sca}):

$$Q_{abs} = Q - Q_{sca} \quad (1)$$

Последние рассчитываются как сумма бесконечного ряда от коэффициентов разложения электрического и магнитного поля рассеянной световой волны по специальным функциям Риккати-Бесселя:

$$Q_{sca} = \frac{2}{\rho^2} \sum_{l=1}^{\infty} (2l+1) \cdot \left(|c_l|^2 + |b_l|^2 \right), \quad (2)$$

$$Q = \frac{2}{\rho^2} \text{Im} \sum_{l=1}^{\infty} (2l+1) \cdot (c_l - b_l), \quad (3)$$

где $\rho = 2\pi r n / \lambda$, n – показатель преломления среды, $m = n_i / n$ – комплексный показатель преломления включения относительно среды. Коэффициенты c_l и b_l определяются из граничных условий для нормальной и тангенциальной составляющих напряженностей электрического и магнитного поля на поверхности включения [8,9]. Специальные функции $\Psi_l(\rho)$ и $\zeta_l(\rho)$ связаны с функциями Бесселя $J_{l+0.5}(\rho)$ и Ганкеля $H_{l+0.5}^{(2)}(\rho)$ дробного порядка соотношениями:

$$\begin{aligned} \Psi_l(\rho) &= \sqrt{\pi\rho/2} \cdot J_{l+0.5}(\rho) \\ \zeta_l(\rho) &= \sqrt{\pi\rho/2} \cdot H_{l+0.5}^{(2)}(\rho) \end{aligned} \quad (4)$$

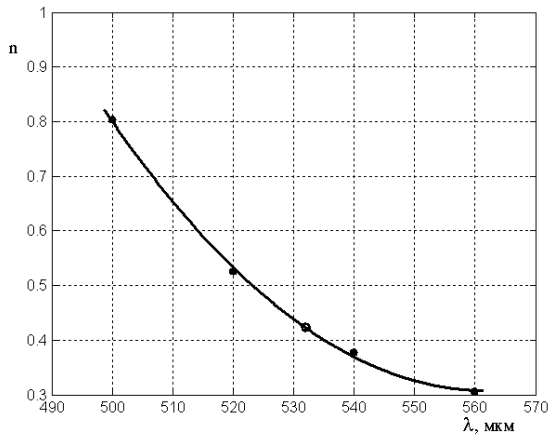


Рис. 1. Спектральная зависимость [12] действительной части комплексного показателя преломления в окрестности длины волны 532 нм

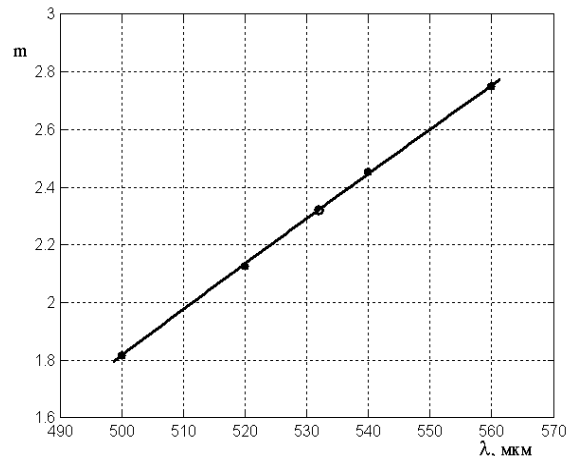


Рис. 2. Спектральная зависимость [12] мнимой части комплексного показателя преломления в окрестности длины волны 532 нм

Из формул видно, что для расчета коэффициента эффективности поглощения необходимо использовать значение комплексного показателя преломления для интересующей длины волны.

Необходимо либо экспериментально определить комплексный показатель преломления включений при данной длине волны, либо интерполировать по имеющимся в литературе значениям на интересующую нас длину волны. В работе реализована методика интерполяции имеющихся экспериментальных данных из [12] методом наименьших квадратов. Далее расчет приведен на примере включений золота в ТЭНе, для расчета брались 4 ближайшие точки. Так как показатель преломления состоит из двух частей (действительной n и мнимой m), то при заданной длине волны λ каждая часть определяется отдельно.

Спектральные зависимости действительной (n) и мнимой частей (m) показателя преломления золота для длины волны 532 нм представлены на рисунках 1 и 2.

Значение действительной части комплексного показателя преломления для длины волны 532 нм составило 0.42308, мнимой части комплексного показателя – 2.3218. В итоге получен следующий показатель преломления для длины волны 532 нм: $m_1 = 0.42308 - 2.3218i$.

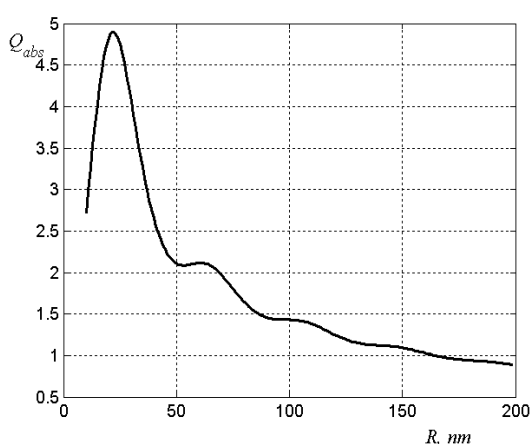


Рис. 3. Зависимость значения коэффициента эффективности поглощения от радиуса включения R

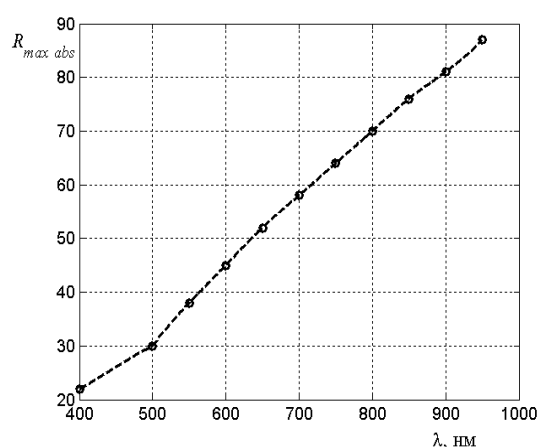


Рис. 4. Спектральная зависимость R_{max} включений серебра в ТЭНе

Используя данный показатель преломления, рассчитана зависимость коэффициента эффективности поглощения лазерного излучения с длиной волны 532 нм наночастицами золота в матрице ТЭНа. Результаты представлены на рисунке 3.

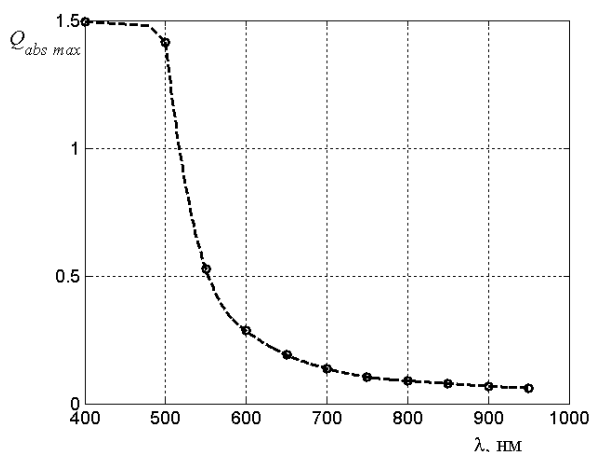


Рис. 5. Спектральная зависимость коэффициента эффективности поглощения наночастиц серебра в ТЭНе

Зависимость обладает ярко выраженным максимумом поглощения для включений размерами 22 нм, его значение составляет 4.8, далее зависимость резко уменьшается в направлении малых радиусов включения. В направлении увеличения радиуса зависимость с осцилляциями выходит на плато. Частицы золота в интервале радиусов от 10 до 160 нм обладают коэффициентом эффективности поглощения больше единицы.

Второй способ определения коэффициента эффективности поглощения для заданной длины волны реализован на примере наночастиц серебра в ТЭНе. Показатели преломления для актуальных длин волн взятые из [12]. Рассчитанная спектральная зависимость коэффициента эффективности поглощения

и спектральная зависимость радиуса включения (R_{max}) обладающего максимальным коэффициентом эффективности поглощения приведены на рисунках 4 и 5 соответственно.

Как и для наночастиц алюминия [2, 13], радиус наиболее поглощающего включения увеличивается с ростом длины волны, для серебра зависимость практически линейна. Коэффициент эффективности поглощения, напротив, уменьшается при сдвиге в длинноволновую область, причем после длинны волны 500 нм падение значительно. Для длин волн более 700 нм значение коэффициента эффективности поглощения не превышает 0,2, в то время как для 500 нм около 1,5. Значение коэффициента эффективности поглощения для второй гармоники неодимового лазера (532 нм) составляет 0,74, при R_{max} равно 35 нм. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод, что наночастицы золота и серебра являются перспективными материалом для использования его в качестве материала включения, а оптический детонатор может быть создан на базе второй гармоники неодимового лазера, обеспечивающей меньшую энергию инициирования взрыва, чем первая гармоника.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 14-03-00534 А).

Литература.

1. Fair H.D., Walker R.F. Energetic Materials. vol. 1. Physics and chemistry of the inorganic azides // New - York - London. – Plenum Press. – 1977. – 382 p.
2. Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, Р.И. Фурега, А.А. Звекон, А.В. Каленский. Взрывчатое разложение ТЭНа с нанодобавками алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны // Химическая физика. – 2013. – Т.32. – №8. – С. 39-42.
3. В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков, А.П. Никитин. Процессы теплопереноса при лазерном разогреве включений в инертной матрице // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – Т.20. – № 3. – С.375-382.
4. A.V. Kalenskii, V.G. Kriger, A.A. Zvekov, E.A. Grishaeva, I.Yu. Zykov, A.P. Nikitin. The Microcenter Heat Explosion Model Modernization // Известия ВУЗов. Физика. – 2012. - Т. 55. - № 11/3. - С.62-66.
5. В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон, А.П. Боровикова, Е.А. Гришаева. Определение ширины фронта волны реакции взрывного разложения азидов серебра // Физика горения и взрыва. – 2012. – Т.48. – № 4. – С 129-136.
6. Кригер В.Г., Каленский А.В., Звекон А.А. Релаксация электронно-возбужденных продуктов твердофазной реакции в кристаллической решетке // Химическая физика. 2012. Т. 31, № 1. С. 18–22.
7. А.В. Каленский, Л.Г. Булушева, В.Г. Кригер, Л.Н. Мазалов. Моделирование граничных условий при квантово-химических расчетах азидов металлов в кластерном приближении // Журнал структурной химии – 2000 – т. 41 – №3. – с. 605–608.
8. Е.А. Гришаева, А.В. Каленский, М.В. Ананьева, А.А. Звекон. Неизотермическая модель разветвленной цепной реакции взрывного разложения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения – 2013. – т. 10 – № 1. – С. 44-49.
9. Кригер В. Г., Каленский А. В., Звекон А. А., Ананьева М. В., Боровикова А. П. Диффузионная модель разветвленной цепной реакции взрывного разложения азидов тяжелых металлов // Химическая физика. 2009. Т. 28. № 8. С. 67 – 71.
10. В.Г. В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков, Б.П. Адуев. Влияние эффективности поглощения лазерного излучения на температуру разогрева включения в прозрачных средах// Физика горения и взрыва. – 2012. – Т.48. – № 6. – С. 54-58.
11. М.В. Ананьева, А.В. Каленский, И.Ю. Зыков, А.П. Никитин, В.Г. Кригер. Моделирование взрывного разложения ТЭНа в рамках модернизированной модели горячей точки// Известия ВУЗов. Физика – Т. 56 – № 9/3– 2013 – с. 111-114.
12. Золотарев В. М., Морозов В. Н., Смирнова Е. В. Оптические постоянные природных и технических сред. — Л.: Химия, 1984.
13. В.Г. Кригер, А.В. Каленский, М.В. Ананьева, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков. Физико-химические основы микроагломеративной модели взрывного разложения энергетических материалов // Известия ВУЗов. Физика – Т. 56 – № 9/3– 2013 – с. 175-181.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОЧАГА РЕАКЦИИ ВЗРЫВНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ АЗИДА СЕРЕБРА

И.Ю. Зыков, аспирант, А.В. Каленский, д. ф.-м.н., проф., С.Г. Лукатова, магистрант

Кемеровский государственный университет

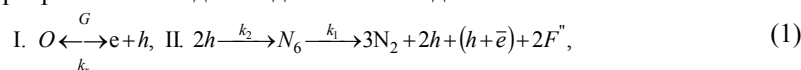
650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842)-31-57-18

E-mail: kriger@kemsu.ru

Скорость распространения очага реакции взрывного разложения при импульсном инициировании измерялась многими авторами. В качестве образцов использовались нитевидные кристаллы (характерные размеры $10 \times 0.3 \times 0.05$ мм³; $V = (1.2 \pm 0.2)$ км/с). Наблюдаемая скорость фронта движения реакции меньше скорости детонации (~4.4 км/с) и скорости звука в кристаллах азидов серебра (~1.8 км/с). Измерение скорости распространения реакции взрывного разложения кристаллов АТМ переменного сечения показало: при уменьшении сечения скорость реакции возрастает, при увеличении – уменьшается. Экспериментально показано, что при инициировании импульсом неодимового лазера нитевидных кристаллов ширина волны свечения на полувысоте – (300 ± 50) мкм.

Целью данной работы: моделирование распространения реакции взрывного разложения АТМ в рамках диффузионной модели распространения цепной твердофазной реакции.

В работах [1-3] предложена модель твердофазной цепной реакции, способной привести к взрывному разложению азидов серебра. Схема стадий модели имеет вид:



где $2F''$ – комплекс, состоящий из двух анионных вакансий, с локализованными на них электронами. Первая стадия – генерация электронно-дырочных (e.h.) пар внешним излучением (зарождение цепи). Обратная стадия – рекомбинация e.h. пар на объемных и поверхностных локальных центрах (обрыв цепи). Скорость рекомбинации носителей лимитируется захватом дырки на нейтральном центре: $V_r \approx k_r p$ [1-3]. Стадия развития цепи (вторая реакция) – взаимодействие двух радикалов N_3^0 , локализованных в соседних узлах кристаллической решетки, с образованием комплекса N_6 . Константа скорости реакции образования N_6 может быть оценена как константа рекомбинации на отталкивающем центре [1], $k_2 \approx 10^{-11} - 10^{-12}$ см³с⁻¹. Далее комплекс N_6 распадается на молекулярный азот (N_2) и $2F$ -центра с выделением энергии, идущей на генерацию активных частиц – стадия разветвления цепи [4]. Константа скорости этой реакции $k_1 \approx 10^7 - 10^8$ с⁻¹ была оценена в работе [5].

Из всех реагентов, рассматриваемых в модели (1), передвигаться по кристаллу (и диффундировать) за время развития взрывного разложения способны только электронные носители заряда. Коэффициент диффузии для дырок и электронов, составляет $D_p \approx D_n \approx 0.2 - 0.3$ см²/с [6-9].

Математическая запись модели, отвечающей схеме реакции с учетом диффузии дырок, имеет вид:

$$\begin{cases} dp/dt = G(x,t) - 2k_2 p^2 - k_r p + 3k_1 \beta A + \text{div} j_p, \\ dA/dt = k_2 p^2 - k_1 A, \quad dN_2/dt = 3k_1 A, \\ G(x,t) = \alpha \beta \xi H(x) \exp(-\xi^2 t^2 / \tau_p^2) / \sqrt{\pi} \tau_p E, \\ \beta = \frac{L - p - 2[N_2]/3 - 2A}{L}. \end{cases} \quad (2)$$

где G – скорость генерации электронно-дырочных пар импульсным излучением, ϕ_p – длительность инициирующего импульса на полувысоте, $\xi = \sqrt{\ln 2}$, E – энергия образования одной e.h. пары, β – коэффициент поглощения на длине волны излучения лазера, $H(x)$ – распределение плотности энергии излучения, $L = 2 \cdot 10^{22}$ см⁻³ – число Лошмидта, ν – доля невозбужденных узлов кристаллической решетки.

Результаты расчетов и их обсуждение

Распределение концентрации продуктов реакции по длине кристалла в условиях стабильного очага реакции показано на рис.1. Ширина переднего фронта волны свечения на полувысоте составила около 2,25 мкм, скорость распространения очага реакции не существенно зависит от градиента поперечного сечения образца и составляет 32,8 м/с с постоянным сечением, 33,6 м/с и 32,2 м/с для уменьшающегося и увеличивающегося соответственно.

На рис. 2 приведены расчетные зависимости пороговой плотности энергии инициирования от размера кристалла и диаметра зоны облучения при параметрах модели: $k_1 = 2 \cdot 10^8$ с⁻¹, $k_2 = 5 \cdot 10^{-12}$ см³с⁻¹, $k_r = 5 \cdot 10^6$ с⁻¹, $D = 0.25$ см²/с. Отметим основные особенности полученных зависимостей.

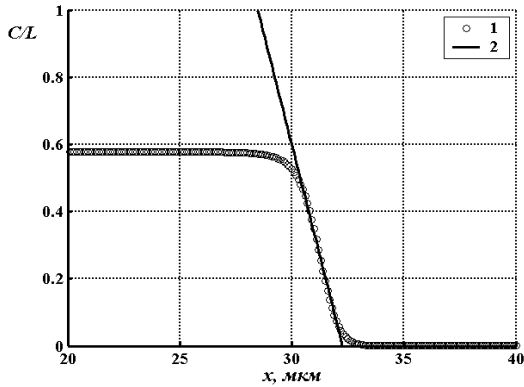


Рис. 1. Распределение концентрации продуктов реакции по длине кристалла (рассчитанные точки) 2 (аппроксимация среднего участка линейной функцией)

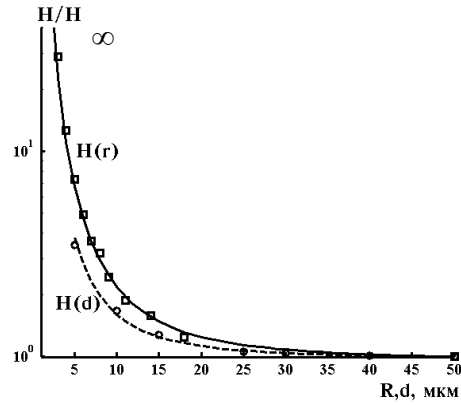


Рис. 2. Рассчитанные в рамках диффузионной модели зависимости пороговой плотности энергии инициирования азида серебра от размера кристалла ($H(R)$) и диаметра зоны облучения ($H(d)$)

1. В гомогенных условиях порог инициирования определяется отношением скоростей образования носителей цепи при разветвлении и их гибели в процессе рекомбинации. В случае гетерогенного зарождения реакции появляется дополнительный отток носителей цепи из очага реакции к поверхности кристалла или в невозбужденную область, окружающую очаг. Так как этот процесс приводит к уменьшению концентрации носителей цепи в очаге, пороговая плотность энергии возрастает как при уменьшении размера кристалла, так и диаметра зоны облучения. Сильная зависимость $H(R, d)$ проявляется в области размеров, соответствующих характерной диффузионной длине [11] $d, R \sim \sqrt{D/k_r}$. Полученные при численном моделировании результаты хорошо согласуются с предложенной в работе [1] аналитической зависимостью порога инициирования от размера кристалла.

2. Зависимость пороговой плотности энергии от размера кристалла сильнее, чем от диаметра зоны облучения. Например, при значении $d, R = 5$ мкм, $H(d)/H_\infty = 3.48$, а $H(R)/H_\infty = 7.26$ (H_∞ - значение критической плотности энергии инициирования при $d, R \rightarrow \infty$). Объяснить наблюдаемое различие можно следующим образом. Рекомбинация носителей цепи на поверхности кристалла протекает в диффузионной области [1]: все носители цепи, достигшие поверхности, гибнут и не могут поддерживать реакцию. Граничное условие (3) является более жестким, чем требование асимптотического поведения концентрации реагентов ($p \rightarrow 0$ при $x \rightarrow \infty$). Оно приводит к созданию большего градиента и, как следствие, большому оттоку носителей цепи из области развивающейся реакции. К тому же при диффузии носителей цепи из зоны облучения в невозбужденную часть кристалла, носитель может как погибнуть при рекомбинации, так и участвовать в развитии цепной реакции, что также приводит к более слабой зависимости $H(d)$ и по сравнению с $H(R)$ [10].

3. Зависимость скорости распространения волны цепной реакции от коэффициента диффузии представлена на рис. 3. Зависимость хорошо описывается уравнением Зельдовича:

$$V = \sqrt{D/\tau_m}, \quad (3)$$

со значением характерного времени реакции $\tau_m = 4.6/k_1$. Можно показать, что значение времени реакции τ_m совпадает временем, вычисленным в рамках гомогенной модели:

$$\tau_m = \sqrt{2 \left[\frac{d^2(C/C_m)}{dt^2} \right]^{-1}}, \quad (4)$$

где $C = p + 2A$ – суммарная концентрация носителей цепи, C_m – ее максимальное значение. Уравнение Зельдовича является точным, если в качестве τ_m рассматривать время реакции при максимальной концентрации носителей цепи, поэтому выражение (4) можно рассматривать как определение этого времени.

Сравнение с экспериментом

При сравнении расчетных и экспериментальных зависимостей можно выделить следующее.

1. Теоретическая зависимость критической плотности энергии от размера кристалла качественно и количественно соответствует экспериментальной при $D = 0.25 \text{ см}^2/\text{с}$. Из этого следует, что зависимость критической плотности энергии инициирования от размера образца определяется диффузией носителей заряда на поверхность кристалла, где скорость их рекомбинации превышает объемную. Экспериментальные данные позволяют непосредственно оценить значение коэффициента диффузии. Диффузионная длина пробега носителей цепи может быть вычислена по формуле:

$$l = \sqrt{D\tau},$$

В работе [1] было показано, что при $R \approx 1 \text{ мкм}$ необходимая для возникновения взрывного разложения концентрация носителей цепи сопоставима с концентрацией регулярных узлов кристаллической решетки, в результате чего взрывное разложение кристаллов таких размеров осуществить не удастся [11]. Характерное время развития процесса в этих условиях $\tau \approx 20 \text{ нс}$. Оценка коэффициента диффузии носителей цепи по выражению дает:

$$D < \frac{R^2}{\tau} = 0.5 \text{ см}^2/\text{с}.$$

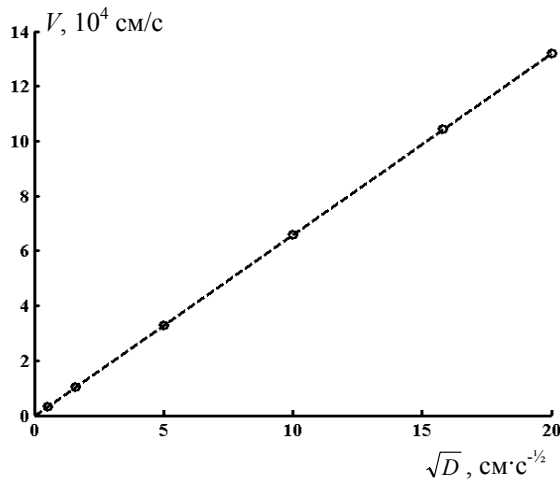


Рис. 3. Зависимость скорости движения волны цепной реакции от коэффициента диффузии в координатах уравнения Зельдовича. о – расчет по диффузионной модели, - - - - аппроксимация по уравнению (3).

Размерные эффекты будут существенно сказываться, если константа поверхностной рекомбинации больше, чем объемной. Согласно экспериментальным данным, зависимость начинает проявляться при размерах кристаллов $\approx 10 \text{ мкм}$. Это позволяет оценить верхнюю границу значений коэффициента диффузии по формуле:

$$D = \frac{k_r R^2}{\pi^2} = 0.3 \text{ см}^2/\text{с}. \quad (5)$$

Оцененное по (5) значение коэффициента диффузии составляет величину $D = 0.2 - 0.3 \text{ см}^2/\text{с}$. Это значение D в условиях взрывного разложения соответствует подвижности электронных носителей заряда в азиде серебра $\mu = (8 - 10) \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Значение μ близко определенной экспериментально при исследовании эффекта Холла [9].

2. Область проявления зависимости пороговой плотности энергии инициирования от диаметра зоны облучения ($d < 200 \text{ мкм}$) явно не согласуется с областью проявления зависимости от размера образца ($R < 10 \text{ мкм}$). Различие в характерных областях проявления эффектов составляет более порядка величины. Экспериментальные зависимости $H(R)$ и $H(d)$ начинают проявляться при d , значительно больших, чем R , тогда как при предположении диффузионного механизма этих эффектов (при одинаковых значениях коэффициента диффузии) наблюдается обратное. Более слабая зависимость $H(d)$, чем $H(R)$, является следствием граничных условий и диффузионного механизма движения носителей цепи из зоны облучения в невозбужденную часть кристалла и к поверхности образца. Зависимость критической плотности энергии инициирования от диаметра зоны облучения требует при описании с позиций диффузионной модели значение коэффициента диффузии электронных возбудителей $D \approx 200 \text{ см}^2/\text{с}$, которое отличается от экспериментальной величины на 3 порядка. По этой причине, процесс диффузии носителей цепи может объяснить только один из наблюдаемых эффектов – зависимость критической плотности энергии инициирования от размера кристалла, а передача энергии из зоны облучения в непрореагировавшую часть кристалла должна быть связана с другим, более быстрым процессом.

3. Объяснение экспериментально наблюдаемой скорости распространения фронта разложения ($V = 1.2 \text{ км/с}$) диффузией носителей заряда требует значению коэффициента диффузии $D \approx 200 \text{ см}^2/\text{с}$,

которое на три порядка превышает величину, оцененную в условиях взрывного разложения из зависимости пороговой плотности энергии инициирования от размера кристалла. Распространение реакции взрывного разложения связано с передачей энергии из очага реакции в непрореагировавшую область кристалла. Однако, как следует из изложенного выше этот процесс не связан с диффузией носителей цепи.

Заключение

В работе сформулирована модель твердофазной цепной реакции, дополненная диффузией реагентов. Рассмотрены два частных случая: зарождение и распространение реакции при локальном инициировании большого кристалла и инициирование взрывного разложения при диаметрах пучка превышающих размер микрокристаллов. Диффузионная модель позволяет объяснить экспериментальную зависимость $H(R)$, но не дает (при близких величинах коэффициента диффузии) объяснения зависимости $H(d)$ и наблюдаемой скорости распространения реакции разложения. Таким образом, механизм передачи энергии, определяющий зависимость $H(d)$, и распространение реакции, не является диффузионным и требует дальнейшего экспериментального и теоретического исследования.

Полученные результаты вытекают из того, что граничные условия, связанные с поверхностной рекомбинацией, являются более жесткими, чем требование асимптотического уменьшения концентрации реагентов по мере отдаления от облученной области. Поэтому, сделанный вывод является общим для любой модели разветвленной цепной реакции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-03-00534 А).

Литература

1. В. Г. Кригер, А. В. Каленский. Размерный эффект при инициировании разложения азидов тяжелых металлов импульсным излучением // Хим. Физика. – 1996. – № 3. – С. 40 – 47.
2. В. Г. Кригер, А. В. Каленский, Ю. А. Захаров, В. П. Ципилев. Механизм твердофазной цепной реакции // Материаловедение. – 2006. – №9. – С. 14 – 21.
3. Е. А. Гришаева, А. В. Каленский, М. В. Ананьева, А. А. Звекон. Неизотермическая модель разветвленной цепной реакции взрывного разложения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения – 2013. – т. 10 – № 1. – С. 44-49.
4. А.В. Каленский, Л.Г. Булушева, В.Г. Кригер, Л.Н. Мазалов. Моделирование граничных условий при квантово-химических расчетах азидов металлов в кластерном приближении // Журнал структурной химии – 2000 – т. 41 – №3. – с. 605–608.
5. Кригер В.Г., Каленский А.В., Звекон А.А. Релаксация электронно-возбужденных продуктов твердофазной реакции в кристаллической решетке // Химическая физика. 2012. Т. 31, № 1. С. 18–22.
6. Кригер В. Г., Каленский А. В., Звекон А. А., Ананьева М. В., Боровикова А. П. Диффузионная модель разветвленной цепной реакции взрывного разложения азидов тяжелых металлов // Химическая физика. 2009. Т. 28. № 8. С. 67 – 71.
7. В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон, А.П. Боровикова, Е.А. Гришаева. Определение ширины фронта волны реакции взрывного разложения азидов серебра // Физика горения и взрыва. – 2012. – Т.48. – № 4. – С 129-136.
8. В. Г. Кригер, А. В. Каленский, В. В. Коньков. Пороговая энергия инициирования азидов серебра эксимерным лазером // Материаловедение. – 2003. – № 7. – С. 2 – 8.
9. Захаров Ю.А., Сидорин Ю.Ю., Кучис Е.В. Холловская подвижность носителей заряда в азиде серебра / Сидорин Ю.Ю., Кучис Е.В. // Изв. АН СССР. Сер. “Неорг. м-лы.” – 1979. – Т. 15. – № 8. – С. 1397 – 1401.
10. Кригер В.Г., Каленский А.В., Ананьева М.В., Боровикова А.П. Зависимость критической плотности энергии инициирования взрывного разложения азидов серебра от размеров монокристаллов // Физика горения и взрыва. 2008. – Т. 44. – № 2. – С. 76-78.
11. Кригер В.Г., Каленский А.В., Ципилев В.П., Звекон А.А. Взрывное разложение монокристаллов азидов серебра при различных диаметрах зоны облучения // Физика горения и взрыва. 2009. – Т. 45. – № 6. – С. 105-107.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ ДОЛОТНОЙ СТАЛИ ПРИ НАГРЕВЕ В ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ПЛАЗМЕ

М.К. Скаков, д.ф.-м.н., профессор, Л.Б. Баятанова, докторант PhD*

Национальный Ядерный Центр РК, Казахстан, 071100, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 2/054 Б

**Восточно-Казахстанский Государственный технический университет им. Д.Серикбаева*

070010, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19

E-mail: leila_1809@mail.ru

В работе исследовано влияние различных режимов цементации в электролитной плазме на морфологию структуры, микротвердость и износостойкость образцов долотной стали 18ХНЗМА-Ш. Показано, что результатом электролитно-плазменной цементации являются: формирование упрочненных модифицированных слоев, увеличение поверхностной микротвердости и износостойкости образцов стали 18ХНЗМА-Ш. Показана возможность применения и оптимизирован режим электролитно-плазменной цементации, заключающейся в нагреве образцов стали до 860 °С с выдержкой при этой температуре в течение 3.5-7 мин.

Повышение эффективности производства и качества выпускаемой продукции в долотной промышленности неразрывно связано с более полным использованием возможностей, которые заложены в конструкционных материалах, из которых изготавливаются буровые долота, и технологиях обработки этих материалов.

Проблема повышения эксплуатационной надежности буровых долот является комплексной и предполагает привлечение современных методов химико-термической обработки. Важнейшей частью этой проблемы является улучшение свойств материала поверхностного слоя деталей, в частности за счет цементации в электролитной плазме.

Свойства цементованного слоя и определяемый ими ресурс работы долота в большой степени зависят от кривой распределения углерода по толщине слоя. Современные конкурентные отношения в промышленности и требования международного стандарта качества диктуют необходимость создания автоматизированного и легко перестраиваемого оборудования для цементации буровых долот с целью получения регулируемого профиля распределения углерода по толщине цементованного слоя детали. В этой ситуации актуальными являются задачи автоматизации процесса цементации и разработки оптимальных технологических режимов процесса. Одним из перспективных с точки зрения производительности, качества и повторяемости результатов, является цементации в плазме электролита [1,2].

Целью работы является изучение структуры и свойств поверхностного диффузионного слоя стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменной цементации.

Материал и методы исследования

Объектами исследования являлись образцы, приготовленные из долотной стали 18ХНЗМА-Ш размером 30×30×5 мм³, прошедшие ЭПО цементацией в течение 3.5-7 минут по режимам на установке для электролитно-плазменной обработки [3].

Микроструктуру образцов изучали, используя оптический микроскоп АХЮРНТ 2 (в университете им. Отто-фон-Гуерике, г.Магдебург, Германия) и АLTAM1 MET 1M. При проведении металлографического микроанализа шлифы после полировки (паста двуокиси хрома) для определения микроструктуры и выявления наличия включений травилы в реактиве, содержащем 4% азотной кислоты в спирте.

Испытания образцов на абразивное изнашивание проводили на установке для испытаний на абразивное изнашивание при трении о не жестко закрепленные частицы абразива. Износостойкость испытуемого материала оценивали путем сравнения его износа с износом эталонного образца (сталь 45) согласно ГОСТ 23.208-79. Относительную износостойкость стали определяли по формуле:

$$K_{и} = \frac{g_{э} \rho_{и} N_{и}}{g_{и} \rho_{э} N_{э}},$$

где $g_{э}$, $g_{и}$ – значения потерь массы при испытаниях эталонного образца и образцов исследуемого материала, соответственно, г; $\rho_{э}$, $\rho_{и}$ – плотность эталонного и исследуемого материала, г/см²; $N_{э}$, $N_{и}$ – количество оборотов ролика при испытаниях эталонного и исследуемого материалов.

Микротвердость образцов до и после обработки измеряли методом вдавливания алмазного индентора на приборе ПМТ-3М по методу Виккерса при нагрузке 100 г и выдержке под нагрузкой 10 с в соответствии с ГОСТ 9450–76.

Результаты эксперимента и обсуждения

Металлографические исследования образцов показали, что микроструктура исходных образцов имеет структуру пластинчатого перлита с ферритной сеткой по границам зерен. Структуру стали 18ХНЗМА-Ш после электронно-плазменного воздействия можно охарактеризовать как мартенсит закалки с включениями карбидов [4,5].

Обнаружено, что общая толщина цементованного слоя растет с течением времени обработки. На рис. 1 показано изображение поперечного среза образца стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменной цементации. Минимальные зерна появились на границе с науглероженной части слоя. Микроструктура обработанной поверхности (зона I) характеризуется наличием темного слоя толщиной примерно 50-70 мкм, где произошло структурно-фазовое превращение под воздействием высокой температуры плазмы. Под темным слоем (зона II толщиной около 4500 мкм) наблюдается мелкозернистая пластинчатая структура мартенситного класса, которая переходит в исходную перлитно-ферритную структуру (зона III). Видно, что модифицированный слой распределен равномерно по всей поверхности образца и его толщина составляет около 70 мкм.

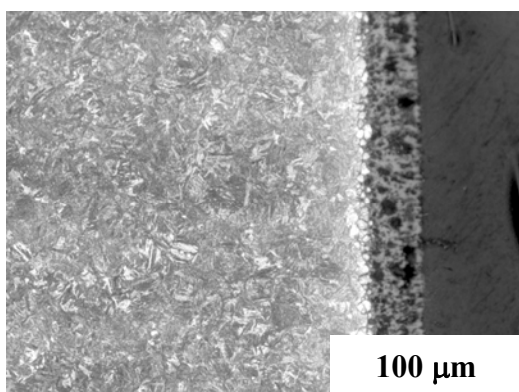


Рис. 1. Микроструктура поперечного разреза стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменной обработки в электролите 10% Na_2CO_3 + 20% $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ при 860°C , 7 мин

Распределение микротвердости по толщине цементованного слоя стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменной обработки представлено на рис. 2. Здесь использовали водный раствор, содержащий 10% Na_2CO_3 + 20% $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$. Из рисунка видно, что микротвердость верхних слоев, обработанных образцов, меньше, чем микротвердость на глубине 50-100 мкм. Снижение микротвердости на самой поверхности образца объясняется наличием остаточного аустенита и оксидного слоя.

На рис. 3 показаны результаты испытания стали 18ХНЗМА-Ш на износостойкость. Видно, что износостойкость после цементации возрастает. При выдержке 5 мин износостойкость доходит до максимума. Дальнейшие увеличение времени выдержки до 7 мин приводит к уменьшению износостойкости. Износостой-

кость является структурно-чувствительной характеристикой и зависит от размера, формы, распределения и объемной доли твердой фазы, а также от механических свойств твердой и матричных фаз. На процессы изнашивания сталей влияют структурные изменения и связанные с ними изменения механических свойств. Об этом свидетельствует снижение износостойкости образца стали с твердостью 5650 МПа, что можно объяснить охрупчиванием поверхностных слоев [6].

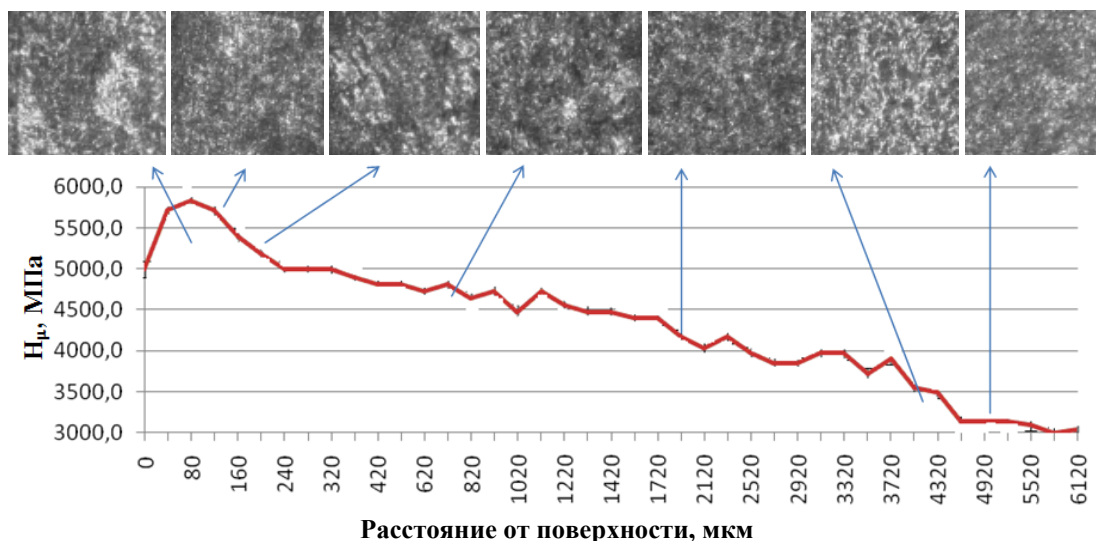


Рис. 2. Зависимость микротвердости от глубины поперечного разреза образцов стали 18ХНЗМА-Ш после цементации при температуре 860°C в течение 5 мин

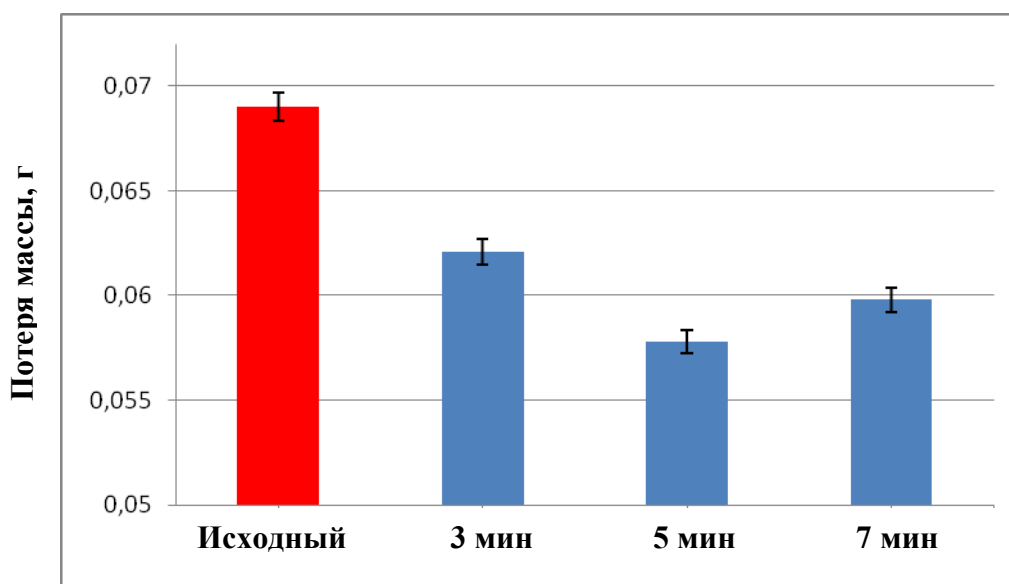


Рис. 3. Износостойкость стали после цементации при температуре 860°C

Улучшение антифрикционных свойств после цементации можно объяснить формированием более дисперсной структуры перлита, а также пластичностью сохранившейся ферритной основы [7].

Выводы

Обнаружено, что в результате поверхностного насыщения плазмой электролита углеродом стали 18ХНЗМА-Ш, образуется градиентный слой, состоящий из зон- структурно-фазовых превращений, термического влияния, расположенных последовательно по глубине слоя и существенно различающиеся между собой;

Изучены зависимости поверхностной твердости и глубины закаленного слоя от режимов электролитно-плазменной цементации. Установлено, что после обработки микротвердость поверхности стали 18ХНЗМА-Ш повышается более чем в 2 раза относительно исходного состояния;

Установлено, что в результате цементации в электролитной плазме абразивная износостойкость поверхностных слоев стали 18ХНЗМА-Ш увеличивается в 3 раза относительно исходного состояния.

Настоящая работа проведена в соответствии с договором № 475/189-209-11 с АО «Национальное агентство по технологическому развитию» по теме «Инновационная технология электролитно-плазменной обработки упрочнением материала подшипникового узла бурового инструмента» от 23.12.2011 года.

Литература.

1. A.L. Yerokhin, X. Nie, A. Leyland, A. Matthews, S.J. Dowey. Plasma electrolysis for surface engineering// Surface and Coatings Technology/ Vol.122 (1999), pp.73–93.
2. E.I. Meletis, X. Nie, F.L. Wang, J.C. Jiang. Electrolytic plasma processing for cleaning and metal-coating of steel surfaces// Surface and Coatings Technology/ Vol. 150 (2002), pp. 246–256.
3. Способ поверхностного упрочнения подшипниковой дорожки бурового инструмента: Патент на изобретение: Скаков М.К., Баятанова Л.Б., Курбанбеков Ш.Р., Сапатаев Е.Е., Рахадиллов Б.К. № 23178 / Заявл. 10.05.2012; Оpubл. 15.05.13, Бюл. № 5.
4. M.K. Skakov, L.B. Bayatanova, M. Sheffler. Changes of Structural-Phase Condition in 18CrNi3MoA-Sh Steel After Electrolyte-Plasma Processing // Advanced Materials Research/ Vol. 601 (2013) pp 74-78.
5. M.K. Skakov, L.B. Bayatanova, M. Sheffler. Surface Hardening of 18CrNi3MoA-SH Steel with Heating in Electrolytic Plasma // Key Engineering Materials) Vols. 531-532 (2013) pp 242-245.
6. С.А. Герасимов, Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. — 518, [2] с.
7. Дураджи, В. Н. Цементация и нитроцементация стали при нагреве в электролитной плазме / В. Н. Дураджи, И. В. Брянцев, Е. А. Пасинковский // Электронная обработка материалов. - 1978. - № 2. - С. 53-56.

КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМЫ ТВЕРДОФАЗНЫХ ЦЕПНЫХ РЕАКЦИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ СТАЦИОНАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В.Г. Кригер, д.ф.-м.н., профессор, Д.В. Балыков, аспирант, П.Г. Журавлев, магистрант

Кемеровский государственный университет

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

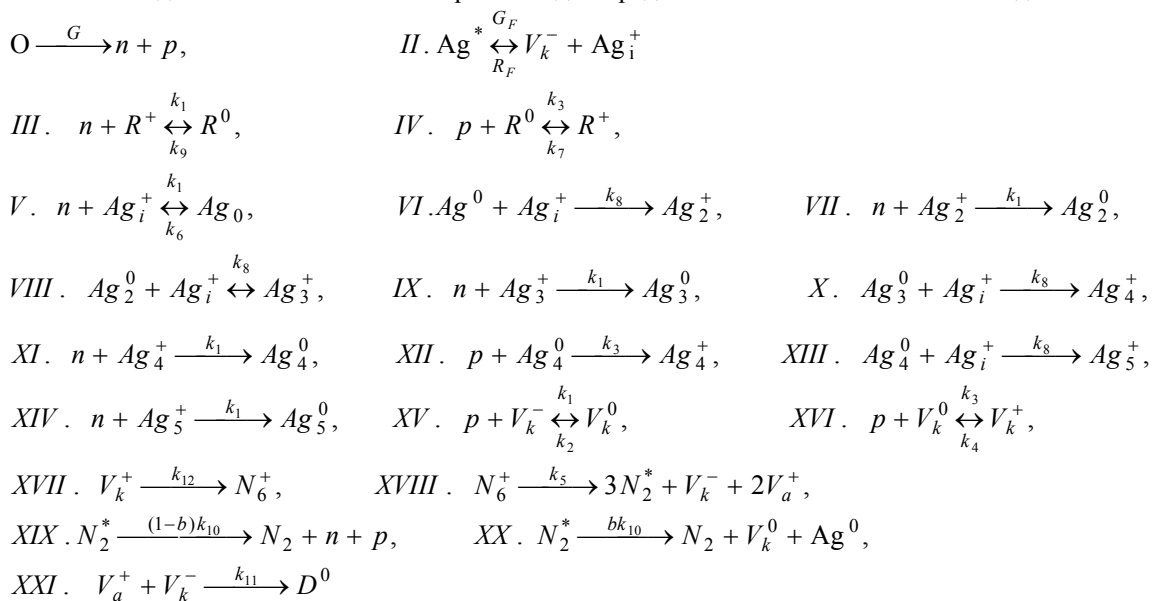
E-mail: kriger@kemsu.ru

В работе исследуется кинетика и механизм разветвленной твердофазной цепной реакции, роль активных частиц в которой, наряду с возбуждениями электронной подсистемы, играют собственные дефекты кристаллической решетки. Предполагается, что развитие в кристалле разветвленной цепной реакции является общей причиной аномально высокой чувствительности инициирующих взрывчатых веществ (на примере азидов тяжелых металлов) к стационарным внешним воздействиям (нагревание, облучение, электрическое поле). Предложенная модель реакции базируется на принципиально новых явлениях установленных в последние годы в работах нашей лаборатории:

- При сравнительно низких уровнях возбуждения электронной подсистемы локализация двух азид радикалов на катионной вакансии приводит к образованию комплекса N_6 , распад которого является основной стадией энерговыделения, приводящей к развитию цепи.

- Образующиеся и растущие при твердофазном разложении нанокластеры серебра Ag_n ($n=2-5$) являются центрами обрыва цепи.

Таким образом, собственные дефекты кристаллической решетки участвуют в как стадиях ветвления, так и в стадиях обрыва цепи. Это может приводить к сложному динамическому поведению системы. Особое внимание уделено исследованию двух принципиально важных сторон явления: исследованию взаимного влияния реакции на дефектную структуру кристалла и влиянию образующихся продуктов на кинетику процесса. Исследуются закономерности перехода стационарного протекания реакции в автоколебательные и взрывные режимы в зависимости от природы и параметров внешнего воздействия. Схема элементарных стадий предложенного механизма имеет вид:



Стадия I — генерация электронно-дырочных (n.p.) пар внешним излучением. Стадия II — образование и рекомбинация Френкелевских дефектов. Стадии III, IV — рекомбинация n.p. пар на объемных и поверхностных локальных центрах. Стадии V, VII, IX, XI, XII, XIV, — локализация электронов и дырок на растущем нанокластере металлического серебра. Стадии VI, VIII, X, XIII — рост кластера металла при миграции катиона серебра к нейтральному зародышу. Стадии XV и XVI — последовательная локализация двух дырок на катионной вакансии. Стадии XVIII, XIX — образование комплекса N_6^+ и его распад на три возбужденные молекулы азота с образованием комплекса из двух анионных и одной катионной вакансии, с расположенными в них молекулами азота. XX, XXI — релаксация возбужденной молекулы азота с образованием электронно-дырочной пары или пары Френкелевских дефектов в нейтральном зарядовом состоянии. Последняя стадия — взаимодействие анионной и катионной вакансии с образованием нейтрального конечного продукта — дивакансии D^0 .

V_k^+ представляет собой комплекс, состоящий из 2-х локализованных на катионной вакансии дырок. В работе [1] показано, что электронная плотность V_k^+ центра сосредоточена на ближайших к вакансии анионах. Поэтому V_k^+ можно рассматривать как комплекс, состоящий из локализованных на катионной вакансии радикалов N_3^0 . Уровень V_k^+ в запрещенной зоне расположен вблизи потолка валентной зоны ($W \sim 0.1$ эВ), и время жизни центра составляет $\approx 10^{-10}$ - 10^{-11} с. Этого времени вполне достаточно для образования устойчивой молекулы N_6^+ . В работе [1] показано, что в зависимости от ориентации комплекса N_6 в кристаллической решетке азида серебра возможно образование как устойчивых относительно распада $N_6 \rightarrow 3N_2^*$, так и реакционноспособных комплексов N_6^+ . Кроме положения в кристаллической решетке устойчивость образующегося комплекса зависит от взаимных ориентаций спинов локализованных радикалов N_3^0 . Изменение этой ориентации во внешнем магнитном поле (синглет-триплетные переходы) открывает принципиальную возможность влияния магнитного поля на образование и устойчивость комплекса N_6^+ и скорость ветвления цепной реакции.

Точкой отсчета положений энергетических уровней реагентов в запрещенной зоне выбран потолок валентной зоны с учетом полярной поправки к зонному состоянию H_0 [4]. Энергетическое положение уровней собственных дефектов оценены в работах [3, 1]: $E_{Ag} = 0,94$ эВ (0,56 эВ от дна зоны проводимости) для Ag^0 и $E_{V_k} = 0,7$ эВ для V_k^0 , полная ширина запрещенной зоны рассчитывалась из соотношения Мотта и принималась равной $\sim 1,6$ эВ [1]. Положение уровней центров рекомбинации выбиралось с учетом предположения, что при равных константах делокализации электронов и дырок с центров рекомбинации достигается оптимальный режим релаксации системы при внешнем воздействии. В итоге положение центров рекомбинации выбиралось равным $E_R = 0,85$ эВ от ВЗ.

Для расчета кинетики разложения АТМ необходимо знать константы электронно-дырочных переходов (ЭДП). Величины констант локализации электронов и дырок на заряженных и нейтральных центрах в азиде серебра, рассчитывались в предположении, что лимитирующей стадией локализации является миграция носителей к дефектам [7].

Константы термического выброса электронов и дырок рассчитывались по формуле:

$$k_i = \gamma_i N_{c,v} \exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right) \quad (1)$$

где k_i , γ_i – константы термического возбуждения и захвата 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, $N_{c,v}$ – эффективные плотности состояний в зоне проводимости для электронов и в валентной зоне для дырок. Константы термического выброса дырки с дефектов рассчитывались с учетом повышенной плотности состояний дырок вблизи потолка валентной зоны: $Q_p \approx 100N_v$, где N_v – плотность состояний в валентной зоне без учета поляризации [7]. Параметры стадий ионного разупорядочения и миграции собственных дефектов оценивались по барическим зависимостям проводимости [5] с использованием теории Зинера [8].

Константы скорости релаксации возбужденной молекулы азота с образованием электронно-дырочной пары или пары Френкелевских дефектов в нейтральном зарядовом состоянии оценивались в работе [6]. Константы скоростей стадий приведены в таблице 1.

Таблица 1

Константы скоростей ЭДП, ионных стадий и химических реакций

Константы электрон-дырочных стадий			
Локализации		p	n
		На заряженном центре	$(k_1)=1 \cdot 10^{-6} [\text{см}^3 \text{с}^{-1}]$
	На нейтральном центре	$(k_3)=1 \cdot 10^{-8} [\text{см}^3 \text{с}^{-1}]$	[7]
Термического возбуждения	V_k^+	$(k_4)=5,28 \cdot 10^{11} [\text{с}^{-1}]$	-
	V_k^0	$(k_2)=4,49 \cdot 10^3 [\text{с}^{-1}]$	-
	Ag_i^0	-	$(k_6)=1,01 \cdot 10^4 [\text{с}^{-1}]$
	R^+	$(k_7)=6,50 [\text{с}^{-1}]$	-
	R^0	-	$(k_9)=6,50 [\text{с}^{-1}]$
Константы ионных стадий			
Константа Френкеля		$KF=6,4 \cdot 10^{33} [\text{см}^{-6}]$	[5]
Генерации дефектов Френкеля		$(G_F)=1,47 \cdot 10^{18} [\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}]$	[5]
Рекомбинации дефектов Френкеля		$(R_F)=2,30 \cdot 10^{-16} [\text{см}^3 \text{с}^{-1}]$	[5]
Миграции	Ag_i^+	$(k_8)=1,54 \cdot 10^{-18} [\text{см}^3 \text{с}^{-1}]$	[5]
	V_k^-	$(k_{11})=4,60 \cdot 10^{-17} [\text{см}^3 \text{с}^{-1}]$	[5]

Константы химических процессов		
Образование N_6^+	$(k_{12})=1*10^9 \div 1*10^8 [\text{c}^{-1}]$	[6]
Образование N_2^*	$(k_5)=1*10^7 [\text{c}^{-1}]$	[6]
Распад N_2^*	$(k_{10})=1*10^8 [\text{c}^{-1}]$	[6]

Система кинетических уравнений, соответствующая схеме реакции, имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dAg_i^+}{dt} &= G_F - R_F Ag_i^+ V_k^- - k_1 n Ag_i^- + k_6 Ag_1^0 - k_8 Ag_i^+ Ag_1^0 \\ \frac{dV_k^-}{dt} &= G_F - R_F Ag_i^+ V_k^- - k_1 p V_k^- + k_2 V_k^0 + k_5 N_6^+ - k_{11} D^+ V_k^- \\ \frac{dp}{dt} &= G - k_1 p V_k^- + k_2 V_k^0 - k_3 p V_k^0 + k_4 V_k^+ + (1 - \beta) k_{10} N_2^* - k_3 p R^0 + k_7 R^+ \\ \frac{dn}{dt} &= G - k_1 n Ag_i^+ + k_6 Ag_1^0 - k_1 n Ag_2^+ + (1 - \beta) k_{10} N_2^* - k_1 n R^+ + k_9 R^0 \\ \frac{dV_k^0}{dt} &= k_1 p V_k^- - k_2 V_k^0 - k_3 p V_k^0 + k_4 V_k^+ + \beta k_{10} N_2^* \\ \frac{dV_k^+}{dt} &= k_3 p V_k^0 - k_4 V_k^+ - k_{12} V_k^+ \\ \frac{dN_6^+}{dt} &= k_{12} V_k^+ - k_5 N_6^+ \\ \frac{dN_2^*}{dt} &= 3 k_5 N_6^+ - k_{10} N_2^* \\ \frac{dAg_1^0}{dt} &= k_1 n Ag_i^+ - k_6 Ag_1^0 - k_8 Ag_i^+ Ag_1^0 + \beta k_{10} N_2^* \\ \frac{dAg_2^+}{dt} &= k_8 Ag_i^+ Ag_1^0 - k_1 n Ag_2^+ \\ \frac{dAg_2^0}{dt} &= k_1 n Ag_2^+ \\ \frac{dR^0}{dt} &= k_1 n R^+ - k_9 R^0 - k_3 p R^0 + k_7 R^+ \\ \frac{dR^+}{dt} &= k_3 p R^0 - k_7 R^+ - k_1 n R^+ + k_9 R^0 \\ \frac{dV_a^+}{dt} &= 2 k_5 N_6^+ - k_{11} D^+ V_k^- \\ \frac{dD^0}{dt} &= k_{11} D^+ V_k^- \\ \frac{dN_2}{dt} &= k_{10} N_2^* \end{aligned}$$

Поскольку характерные времена стадий образования и распада V_k^+ , N_6^+ , V_k^0 , N_2^* ($\tau \sim 10^{-8} - 10^{-10}$ с) много меньше времени образования металла и газа ($\sim 10^3$ с), то их концентрации можно считать квазистационарными.

Квазистационарные концентрации V_k^+ , N_6^+ , V_k^0 , N_2^* имеют вид:

$$\begin{aligned} \tilde{V}_k^+ &= \frac{k_3 p V_k^0}{k_4 + k_{12}} = \frac{z k_3 p V_k^0}{k_{12}}; \quad \tilde{N}_6^+ = \frac{k_{12} V_k^+}{k_5} = \frac{z k_3 p V_k^0}{k_5}; \quad \tilde{N}_2^* = \frac{3 k_5 N_6^+}{k_{10}} = \frac{3 z k_3 p V_k^0}{k_{10}}; \\ \tilde{V}_k^0 &= \frac{k_1 p V_k^-}{k_2 + (1 - 3\beta) z k_3 p}; \end{aligned} \quad (2)$$

Множитель $z = \frac{k_{12}}{k_4 + k_{12}}$ представляет собой вероятность образования комплекса N_6^+ при локализации двух дырок на катионной вакансии.

С учетом квазистационарных концентраций (2) уравнение для дырок принимает вид:

$$\frac{dp}{dt} = G + k_7 R^+ + k_3 p (z V_k^0 - R^0);$$

В этом уравнении первые два слагаемых представляют собой генерацию либо инжекцию дырок внешними полями (G) и образование дырок в валентной зоне при их термическом возбуждении с центра рекомбинации (k_7R^+). Последние два слагаемых: разность скоростей ветвления ($zk_3pV_k^0$) и обрыва (k_3pR^0) цепи. Поведение системы определяется выражением $\varphi=k_3(zV_k^0-R^0)$.

При $\varphi < 0$ ($zV_k^0 < R^0$) концентрация дырок стремится к стационарному значению $\tilde{p} = \frac{G + k_7R^+}{k_3(R^0 - zV_k^0)}$;

При $\varphi > 0$ ($zV_k^0 > R^0$) концентрация дырок неограниченно возрастает $p \sim \exp(\varphi \cdot t)$

Таким образом, уравнение $\varphi = 0$ ($zV_k^0 \geq R^0$) является критическим условием реализации цепного взрыва.

Критическая концентрация $V_{k_{кр}}^0 = R^0/z$. Предельная концентрация R^0 близка к общей концентрации центров рекомбинации, $R_0 = 1 \cdot 10^{14}$ шт/см³; тогда критическая концентрация V_k^0 составляет $5,29 \cdot 10^{16}$ шт/см³. На рисунке 1 показаны два пути развития процесса, зависящие от концентрации V_k^0 . Результаты получены из дифференциальных уравнений, описывающих кинетику процесса.

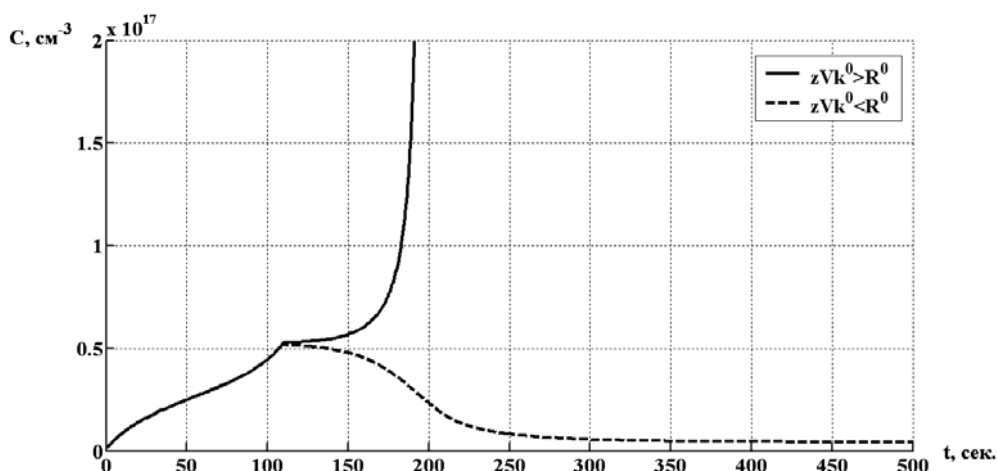


Рис. 1. Концентрации V_k^0 при $G=10^{15}$. $t_{обл}=109$ с. и 110 с

При достижении V_k^0 критического значения система переходит во взрывной режим.

Если во время воздействия критическая концентрация V_k^0 не достигнута – система релаксирует до стационарного состояния (пунктирная линия).

Выполнение критического условия и взрыва АТМ может быть достигнуто несколькими способами. Во-первых: к увеличению концентрации V_k^0 приводит генерация дырок излучением или их инжекция из контактов. Кроме того, к этим же результатам приводит увеличение локальной концентрации катионных вакансий в приповерхностных областях и вблизи дислокаций. Это приводит к образованию локальных очагов реакции, и процесс разложения становится гетерогенным.

С другой стороны образование и рост центров рекомбинации при разложении катионной подрешетки должны ингибировать реакцию разложения и уменьшать вероятность взрыва. При определенных условиях это может приводить к колебательным режимам протекания процесса. Эти вопросы будут рассмотрены в последующих работах.

Литература.

1. Кригер В.Г. Кинетика и механизмы реакций твердофазного разложения азидов тяжелых металлов. Дис. докт. ф. -м. наук. -Кемерово, 2002. – 369 с.
2. Кригер В.Г., Каленский А.В., Вельк В.В. Собственно-дефектная модель разложения азидов тяжелых металлов. // Известия Вузов. Физика, 2000. Т.43. № 11. – С. 118–123.
3. Кригер В.Г., Каленский А.В. Собственно-дефектная модель цепной реакции инициирования азидов тяжелых металлов. // 6 Межд. конф. Радиационные Гетерогенные Процессы: Тез. Докл. Ч.1. – Кемерово, 1995. – С.100-101.
4. Кригер В.Г. Полярный характер носителей заряда в азиде серебра. - Изв. АН СССР, сер. Неорг. м-лы, 1982. № 6. – С. 960-970.

5. G.M. Diamant, A.E. Saprykin and Yu. Yu. Sidorin. The effect of high hydrostatic pressure on silver azide electrical conductivity // *Reactivity of Solids*, 7 (1989) 375-381.
6. Кригер В.Г., Каленский А.В., Звеков А.А. Релаксация электронно-возбужденных продуктов твердофазной реакции в кристаллической решетке. // *Химическая физика*. 2012. Т. 31. № 1. С. 18.
7. Пекар С.И. Исследования по электронной теории кристаллов. - М.: Гостехиздат, 1951.- 256с.
8. Пол В., Варшауэр Д. Твердые тела под высоким давлением. - М.: Мир, 1966. - 524с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В СОСТАВЕ ДИСПЕРСНЫХ МАСС «СУГЛИНОК-ШЛАК» НА СВОЙСТВА ОБЖИГОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

*Д.С. Горлов, студент гр. 17Г10, В.Ф. Торосян, к.пед.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: torosjaneno@mail.ru*

В связи со сложившейся тенденцией перехода промышленности на качественно новый уровень ресурсо- и энергосбережения существует необходимость в более детальном изучении суглинков и подборе оптимальных добавочных компонентов производства керамических изделий. В большинстве случаев суглинка характеризуются высокой чувствительностью к сушке, низкой прочностью на сжатие и на изгиб в обожженном состоянии, невысокой морозостойкостью. Все эти недостатки делают невозможным их применение без корректирующих добавок. При этом отмечается, что достаточно трудно подобрать такой добавочный компонент, который позволил бы устранить комплекс вышеперечисленных технологических проблем. Вследствие этого возникает необходимость корректировки шихтовых составов путём введения нескольких добавочных компонентов или минерализаторов в керамические массы, что приводит к удорожанию готовой продукции и увеличению материалоёмкости производства. Кроме того, при увеличении числа компонентов, слагающих керамическую массу, возникают дополнительные сложности, которые в итоге могут негативно сказаться на качестве обожженных изделий.

Наиболее важными свойствами глин являются пластичность, воздушная усадка (дообжиговые свойства), огнеупорность, спекание и огневая усадка (обжиговые свойства). Пластичность глин – способность глиняного теста изменять форму без разрыва и нарушения сплошности под действием внешних усилий и сохранять приданную форму после прекращения их действия. Пластичными свойствами каждая глина обладает в определенном диапазоне влажности. Пластичность зависит от вида и количества глинообразующих минералов в глине. Наибольшей пластичностью обладают монтмориллонитовые глины. Повышение дисперсности глин увеличивает их пластичность, а запесоченность, наоборот, снижает ее. Пластичность глин может быть повышена добавлениями пластичных добавок или отмучиванием песчаных частиц. Снижают пластичность введением непластичных добавок. Воздушная усадка – уменьшение объема образца при его сушке. При затворении глин водой происходит набухание, т.е. увеличение объема. Удаление из глин воды сопровождается воздушной усадкой в результате действия капиллярных сил. Величина относительной воздушной усадки может быть 2...10 % и более. Наибольшей усадкой обладают монтмориллонитовые глины, наименьшей – каолинитовые. Огнеупорность – способность глин, не расплавляясь, выдерживать действие высоких температур. По огнеупорности глины делят на три класса: огнеупорные – с огнеупорностью выше 1580 °С, тугоплавкие – 1580...1350, легкоплавкие – ниже 1350 °С. Способность глин при обжиге уплотняться с образованием камнепродобного материала называется спекаемостью. В процессе спекания масса уплотняется, вследствие чего происходит огневая усадка, которая у глин колеблется от 2 до 8 %.

Целью данной работы является исследование влияния сталеплавильных шлаков в составе грубозернистых масс «суглинок-шлак» на свойства обжиговых керамических образцов, полученных методом пластического формования, оценка возможности устранения негативных факторов низкосортного глинистого сырья.

При проведении исследований применялись два вида глин и электроплавильный мелкозернистый шлак металлургического производства завода ЮрМаш.

На металлургическом производстве завода ЮрМаш выплавка стали осуществляется в электропечах. При этом производится около 3000т/год шлаков. Для оценки возможности использования

электроплавильных шлаков в строительных материалах необходимо знать их химический состав. В табл.1 представлена характеристика шлака, а также приведены расчетные значения модуля основности шлака (M_o), модуля активности шлака (M_a) и его гидравлическая активность (K).

Таблица 1

Химический состав электроплавильного шлака, %(мас.)														
Оксиды эле-ментов	CaO	SiO ₂	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	Sc ₂ O ₃	M_o	M_a	K
%(мас)	52,46	25,85	11,93	3,04	3,22	1,83	0,14	0,12	0,16	0,31	0,94	2,44	0,07	2,30

Процентное содержание каждого оксида в шлаковой фракции дает возможность определить модуль основности (M_o) по формуле (1).

$$M_o = (CaO + MgO + MnO + Fe_2O_3 + K_2O + TiO_2) : (SiO_2 + Al_2O_3 + Cr_2O_3 + SO_3 + Sc_2O_3). \quad (1)$$

Модуль активности M_a по формуле (2).

$$M_a = Al_2O_3 / SiO_2. \quad (2)$$

Гидравлическая активность шлака определяется коэффициентом качества, который отражает содержание наиболее существенных компонентов шлака и определяется по формуле (3), если содержание MgO до 10%:

$$K = (CaO + MgO + Al_2O_3) : (TiO_2 + SiO_2). \quad (3)$$

Если содержание MgO более 10%:

$$K = (CaO + Al_2O_3 + 10) : (TiO_2 + SiO_2) + (MgO - 10). \quad (4)$$

В зависимости от численного значения модуля основности M_o различают основные шлаки ($M_o > 1$) и кислые ($M_o < 1$).

Электроплавильный шлак металлургического производства ЮрМаш имеет высокий модуль основности и являются основным. Важно отметить, что гидравлическая активность шлаков, в большинстве случаев, с увеличением модуля основности M_o и особенно модуля активности M_a возрастает. Важно заметить, что для изготовления шлакощелочных цементов можно применять как основные, так и кислые шлаки. Шлаки $cK > 1,9$ отличаются повышенной активностью, $cK = 1,6$, имеют среднюю активность, с $K < 1,6$ — малоактивны. Электроплавильный шлак металлургического производства ЮрМаш имеет высокую гидравлическую активность ($K=2,30$) и может быть использован в строительных материалах.

Фазовый состав мелкозернистого шлака представлен фазами шеннонита γ -2 CaO·SiO₂, и периклаза MgO, которые в обычных условиях не обладают вяжущими свойствами [3], что делает невозможным процесс гидравлического твердения без применения дорогостоящей гидротермальной обработки или же путём ввода активного компонента. В современных условиях их применение в области производства вяжущих веществ не даёт существенной выгоды вследствие высоких затрат энергетических и материальных ресурсов. Вследствие этого важно исследовать возможность их применения в качестве добавочного компонента в грубозернистых керамических массах с последующим их обжигом с целью устранения проблем качества продукции, возникающих при использовании низкосортного глинистого сырья.

По зерновому составу глины характеризуются значительным содержанием глинистого вещества (частиц мельче 0,005 мм) и делятся на высокодисперсные, дисперсные и губкодисперсные.

В составе масс керамических применялись:

1. Суглинок Болотнинского месторождения, который относится к легкоплавкому глинистому сырью с высоким содержанием Fe₂O₃ = 5,23 % и является полукислым суглинком (Al₂O₃ прок = 14,22 %). Технологические характеристики суглинка приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технологические характеристики суглинка			
Суглинок	Фракция 0,5 мм	Фракции менее 0,5	Химический состав
Болотнинское месторождение, на окраине с. Болотное. Разведано Росгеолнерудразведкой в 1969г. Разрабатывает Болотнинский КСМ объединения «Новосибирскстройматериалы»	6,5-14,4%	мельче 0,005мм - 17,3 - 20,6%; 0,005 - 0,05 мм - 61,1 - 63,8 %; 0,05 - 1 мм - 15,5 - 21,6	SiO ₂ - 61,8 - 64,2; Al ₂ O ₃ - 12,0 - 14,66; Fe ₂ O ₃ - 5,23 - 5,84; CaO- 3,09 - 5,21; MgO -1,31 - 2,24; P ₂ O ₅ - 17,27 - 20,5; п.п.п. - 6,91 - 9,57

2. Глина огнеупорная и тугоплавкая марки НУФ Нижне-Увельского месторождения, которая относится к исключительно ценным месторождениям огнеупорных глин, сосредоточенных на восточном склоне Южного Урала - Нижне-Увельское месторождение огнеупорных глин находится в непосредственной близости от ст. Нижне-Увельской Южноуральской железной дороги в 5 км от г. Южноуральска, в 40 км к северу от г. Троицка Челябинской области. Как по запасам, так и по качеству огнеупорная глины этих месторождений занимают одно из первых мест среди других месторождений Российской Федерации и стран СНГ. Объем добычи глин этих месторождений составляет 44,1% от всей добычи по стране. Однако в целом залежи тугоплавких глин малочисленны и невелики по объему запасов. На месторождении выделены две характерные литологические разновидности глин: пестроцветная и серая. Глины отличаются значительным разнообразием как по химическому составу, так и по окраске в сыром виде и содержанию минеральных примесей. Химический состав глины приведен в табл. 3.

Таблица 3

Глина	Химический состав огнеупорных глин Южного Урала										Гигроскопическая влага, %
	Содержание оксидов, %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	ППП	
Нижне-Увельское Месторождение, марка (участок «Бугор»)	54,27-63,09	22,63-29,04	2,60-3,28	1,35-1,53	0,65-1,05	0,62-0,95	0,65-1,00	0,24		7,62-10,03	

По гранулометрическому составу нижеувельские глины относятся к тонкодисперсным. Содержание фракции менее 1 мкм изменяется в значительных пределах. По содержанию оксида алюминия глины относятся к основным и полукислым. Глины пластичные, хорошо разжижаются традиционными электролитами (жидким стеклом и содой).

В лабораторных условиях были подготовлены экспериментальные составы керамических масс. Подготовка сырья включала следующие стадии переработки:

- сушка сырья, измельчение в мельнице сухого помола, пропуск через сито;
- образцы в форме кубиков 30х30х30 готовили методом пластического формования;
- при пластическом способе формования смесь увлажняли до оптимальной формовочной влажности, подвергали вылежке в течение суток до полного образования адсорбированных гидратных оболочек;
- предварительную сушку образцов проводили в естественных условиях в течение 4 дней при комнатной температуре 23-25⁰С, а затем в сушильном шкафу при 100-110⁰С, до остаточной влажности менее 1 %;
- обжигали в муфельной печи при температуре 1000-1050⁰С в течение 1 часа.

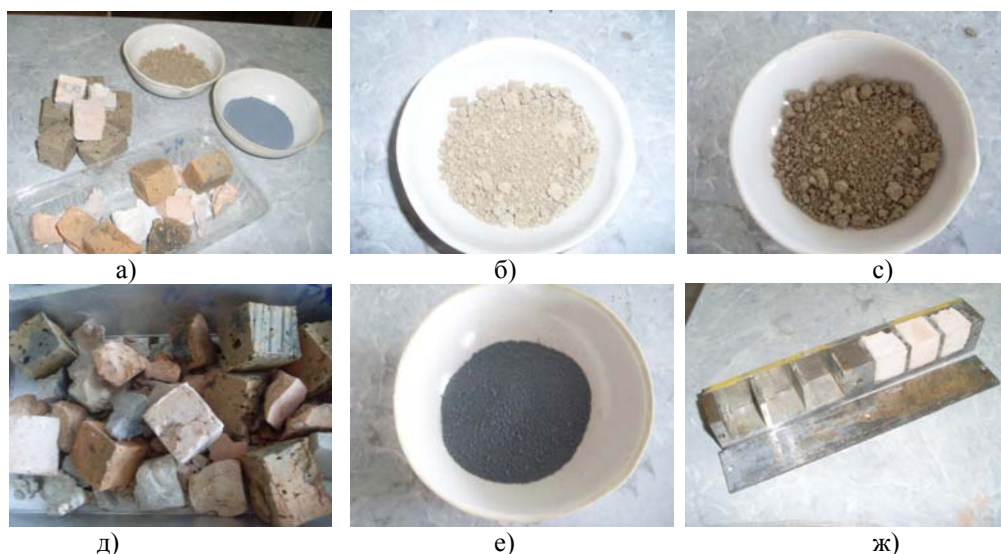


Рис. 1. а) керамические образцы после обжига; б) металлургический шлак; в) глина д) керамические образцы; е) микрокремнезем; ж) форма для образцов

На Юргинском кирпичном заводе для производства кирпича в качестве глинистого сырья применяются легкоплавкие суглинки с высоким содержанием $Fe_2O_3 = 5,23\%$ и являются кислыми или полукислыми суглинками ($Al_2O_3_{\text{прок}} = 14,22\%$). Технологические характеристики их аналогичны суглинкам Болотнинского месторождения (табл. 2).

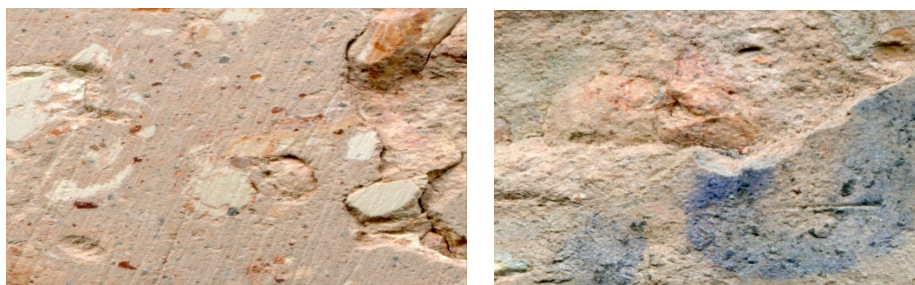


Рис. 2. Образцы состава «суглинок-шлак» после обжига

Для сравнения с продукцией Юргинского кирпичного завода был взят кирпич-сырец, сформованный на заводе, разделен на кубики размером $30 \times 30 \times 30$ и подвергнут обжигу при одинаковых условиях в муфельной печи при температуре $1000-1050^\circ C$ в течение 1 час вместе с экспериментальными образцами. Образцы после обжига подвергались физико-механическим испытаниям. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 4

Средняя масса испарившейся воды и выпарившейся при обжиге образцов

Образцы, №	Глина Юрга	Глина Урал	Шлак металлургический	Микрокремнезём	Жидкое стекло	Масса воды испарившейся после сушки	Масса воды выпарившаяся после обжига
1	50%	50%				12,35	9,8
2		90%	10%			13,35	5,36
3		80%	20%			10,51	3,01
4		60%	40%			12,81	2,80
5		40%	60%			8,67	3,15
6		80%	10%		10%	13,07	3,17
7		60%	30%		10%	12,59	3,36
8		40%	40%		20%	10,79	5,41

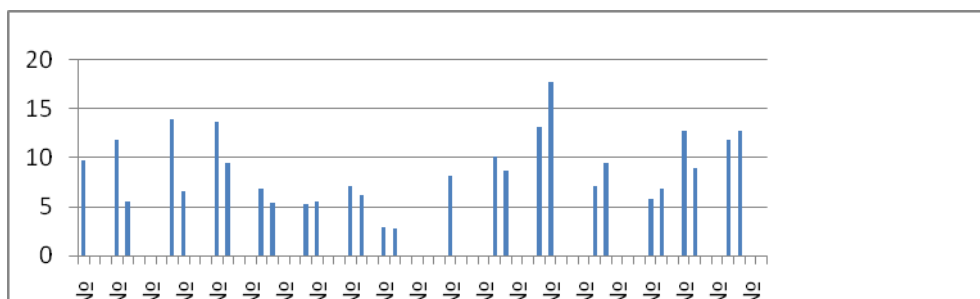


Рис. 3. Сила сжатия, кН

На основании проведённых экспериментов были подобраны оптимальные составы керамических масс при использовании суглинков и сталеплавильных шлаков. Наиболее целесообразно при изготовлении кирпича методом пластического формования применять составы «суглинок – мелкозернистый шлак» при соотношении компонентов – 75:25. При этом отмечается, что введение сталеплавильных шлаков в шихту обуславливает увеличение формовочной влажности керамических масс.

Во всех случаях обжиг образцов производился при температуре 1000–1050°C при изотермической выдержке в течение 1 часа. Важно отметить, что при содержании шлака в составе керамических образцов от 10% до 40% прочность образцов на сжатие возрастает; при повышении содержания шлака от 40% до 60% прочность образцов на сжатие значительно убывает; введение жидкого стекла в состав керамического образца с содержанием шлака до 10% способствует снижению прочности образцов на сжатие. Особое внимание мы уделяли рассмотрению влияния шлаков на цветность образцов. Важно отметить, что цвет керамического черепка состава без добавок красный. При введении в образцы сталеплавильного шлака они приобретают от бежевого до жёлтого цвета. Что позволяет использовать в более широком назначении.

Литература.

1. Лыгина Т.З., Садыков Р.К. и др. Состояние производства стеновых керамических материалов в Российской Федерации // Строительные материалы. - 2009. - №4. - С. 10-11.
2. Гуров Н.Г., Котлярова Л.В., Иванов Н.Н. Расширение сырьевой базы для производства высококачественной стеновой керамики // Строительные материалы. - 2007. - №4. - С. 62-64.
3. Горшков В.С., Александров С.Е., Иващенко С.И. Использование металлургических шлаков в промышленности строительных материалов // Журнал Всесоюзного химического общества им. Менделеева. - Т. XXVII. - 1982. - №5. - С. 566-568.
4. ГОСТ 530–2007. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.
5. Мороз И.И. Технология строительной керамики. - Киев: Вища школа, 1980. - 384 с.
6. Альперович И.А. Новое в технологии лицевого керамического кирпича объёмного окрашивания // Строительные материалы. - 1993. - №7. - С. 5-9.
7. Гуров Н.Г., Котлярова Л.В., Иванов Н.Н. Производство керамического кирпича светлых тонов из красножгущегося глинистого сырья // Строительные материалы. - 2005. - №9. - С. 58-59.

**ДЕФОРМАЦИЯ ПРОСЛОЙКИ НИКЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ СОЕДИНЕНИЯ
ТИТАНОВОГО СПЛАВА И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

*Р.Г. Хазгалиев, м.н.с., М.Х. Мухаметрахимов, м.н.с., к.т.н., Р.Я. Лутфуллин, зав. лаб., д.т.н.,
Р.Р. Мулюков, директор, д.ф.-м.н.*

*Институт проблем сверхпластичности металлов РАН
450001, г. Уфа, ул. Ст. Халтурина, 39, тел. (347) 282 38 14
Email: sloth.usatu@gmail.com*

Создание современных технических устройств, в частности, парогенераторов и теплообменников ядерных энергетических установок, диктует необходимость получения надежного соединения титановых сплавов с другими материалами [1]. Традиционные методы соединения либо утяжеляют конструкцию крепежными элементами, либо не позволяют, например сваркой плавлением, получить надежного соединения. Исключение крепежных элементов позволяет не только снизить вес и размер ответственных изделий, но и осуществить принципиально новые конструктивные решения [2].

Твердофазное соединение титанового сплава с нержавеющей сталью сопровождается образованием хрупких интерметаллидных фаз на основе Fe – Cr – Ti и Fe – Ti и возникновением остаточных напряжений из-за несоответствия коэффициентов термического расширения соединяемых материалов. Существует множество методов преодоления проблемы образования вредных интерметаллидных выделений в зоне контакта свариваемой пары [3]. Одним из путей решения этой проблемы является применение никелевой прокладки [4]. На качество твердофазного соединения оказывают влияние различные факторы, например температура и давление, при которых проводится соединение, время выдержки при заданных условиях, структура материала, наличие пластической деформации в зоне соединения [5]. Имеется немало экспериментальных и теоретических работ, показывающих, что коэффициент диффузии по границам зерен может на порядки превышать значения в объеме зерен [6 - 8]. Использование никелевой прокладки в наноструктурированном состоянии может улучшить качество соединения как за счет большей плотности сетки границ зерен, обеспечивающих более активную диффузию в материале, так и в результате облегченной пластической деформации ультромелкозернистого материала.

В работе исследована твердофазная свариваемость титанового сплава и нержавеющей стали через наноструктурированную никелевую прослойку толщиной 0,2 мм. Определены значения де-

формации в прослойке и качество соединений. На границе раздела титановый сплав / никель проведен химический анализ и определены образующиеся выделения интерметаллидных фаз.

Методика эксперимента

Процесс соединения осуществляли при температурах 650, 700 и 750°C при одинаковой для всех экспериментов времени выдержки под давлением. Соединение осуществляли сваркой давлением ($P=4$ МПа) (осадкой заготовок установленных по схеме на рис. 1) в вакууме 2×10^{-3} Па на установке «АЛА-ТОО (тип ИМАШ 20-78)». Время сварки 20 мин. Размеры исходных заготовок титанового сплава и нержавеющей стали 4x4x16 мм. Использовали никелевую прослойку толщиной 0,3 мм.

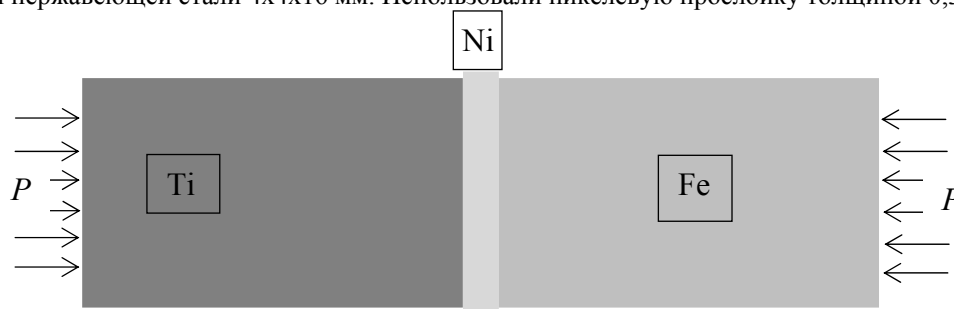


Рис. 1. Схема проведения сварки давлением

Полученные образцы шлифовали и полировали алмазной суспензией с размером абразива 1 мкм. Затем исследовали на оптическом микроскопе Olympus GX51 и растровом электронном микроскопе Tescan Vega с приставкой для энергодисперсионного анализа Oxford Instruments X-act.

Результаты и обсуждение

В процессе формирования соединения разнородных материалов в зонах физического контакта возможно либо проскальзывание материалов друг относительно друга, либо их сцепление (схватывание). Деформация при этом может распределяться как в теле заготовок, так и локализоваться в зоне контакта.

Рассмотрим случай, при котором не происходит сцепления заготовок. Тогда деформация будет проходить равномерно во всем объеме прослойки, при этом ее толщина будет равномерно уменьшаться (рис. 2, а). В случае же, если будет сцепление в зоне контакта, то деформация прослойки будет неравномерной (рис. 2, б), образуется линза.

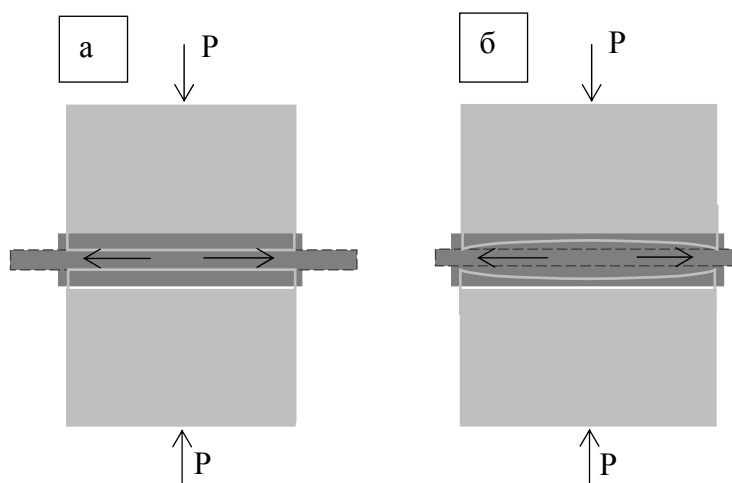


Рис. 2. Схема деформирования прослойки

Степень деформации никелевой прослойки в центре минимальна (рис. 3). Деформацию считывали по изменению высоты прослойки. Анализ структуры зоны твердофазного соединения (рис. 4, участки 1, 2) указывает на присутствие участков с цепочками пор (на графике рис. 3 это участки 1 и 3). В случае же повышенной степени деформации (участок 2 на рис. 3), такого явления не наблюдается (рис. 4, участок 3).

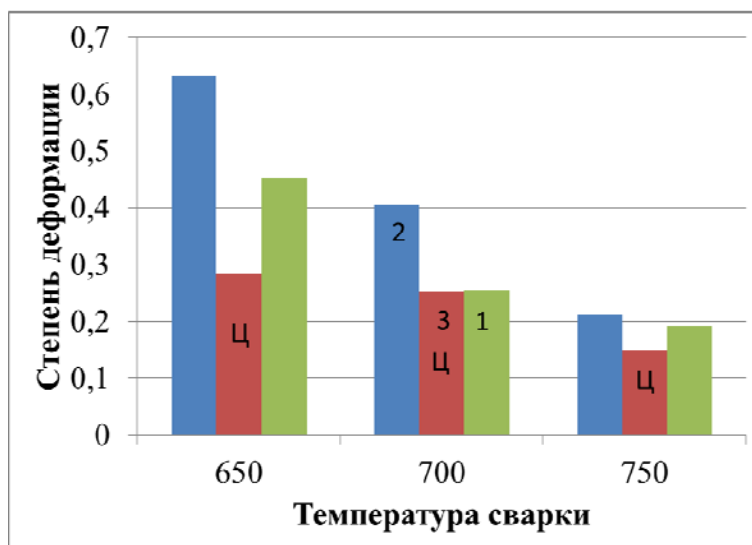


Рис. 3. Степень деформации в прослойке никеля после соединения при различных температурах

Как представлено на рис. 3 с повышением температуры твердофазной сварки локализация деформации в прослойке заметно уменьшается. Возможно, это связано с повышением сопротивления деформации вследствие рекристаллизации никеля. Наноструктура является нестабильной и при повышении температуры выше 400 °С происходит рекристаллизация и рост зерна [9]. Такая ситуация, по всей видимости, сопровождается резким снижением деформируемости никеля. Однако наш процесс происходит при относительно высоких температурах, и снижение деформации по краям образца может быть связано с большей скоростью диффузии при высокой температуре. Последнее может приводить к схватыванию (сцеплению) соединяемого материала на всей зоне контакта и препятствовать свободному деформированию прослойки (рис. 2).

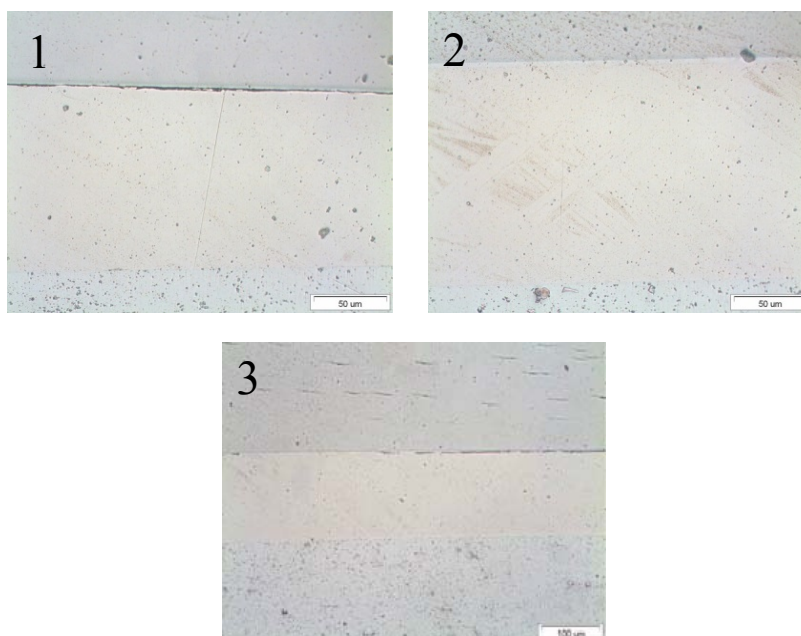


Рис. 4. Структура соединения титановый сплав – никель – нержавеющая сталь после сварки при 700 С, зонам 1, 2 и 3 соответствует степень деформации, показанная на рис. 3

В процессе формирования твердофазного соединения заготовок в зоне контакта титановый сплав / никель образуются выделения интерметаллидных фаз, которые приводят к повышению сил трения. Перераспределение нагрузок приводит к образованию зоны квазигидростатического сжатия в

центре прослойки. На периферии же степень деформации выше, что, вероятно, повышает диффузионную активность поверхности и способствует быстрому сцеплению и более качественному соединению (рис. 4).

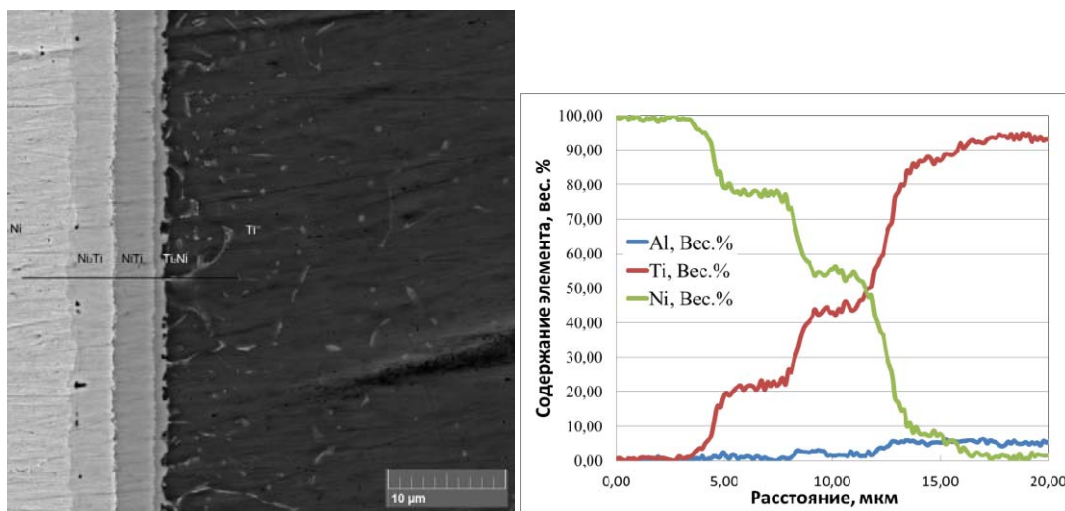


Рис. 5. Изменение состава зоны соединения никель – титановый сплав образца, полученного при соединении 750 °С

Количественный химический анализ соединений показал наличие интерметаллидных выделений при всех температурах сварки. Основное отличие заключается в ширине зон образованных соединений, чем выше температура, тем шире зона интерметаллидов. На рис. 5 приводится типичная картина распределения интерметаллидов на границе титановый сплав / никель. Происходит образование трех интерметаллидных слоев: Ti_2Ni , $TiNi$ и $TiNi_3$.

Таким образом, можно заключить, что формирование твердофазного соединения сопровождается неравномерной деформацией прослойки, влияние которой на свойства необходимо учитывать. При повышении температуры наблюдается дополнительное интенсивное образование интерметаллидов, препятствующих деформированию прослойки и, тем самым, очевидно, влияющих на качество формирующегося соединения.

Литература.

1. G. Lütjering, J. C. Williams // Titanium 2nd edition // ISSN 1619-0181 // ISBN 978-3-540-71397-5 2nd ed. SpringerBerlinHeidelbergNewYork
2. Сварка разнородных металлов и сплавов/В. Р. Рябов, д. М. Рабкин, Р. с. Курочка, л. г. Стрижевская. М.: Машиностроение, 1984. 239 с.
3. Люшинский А.В. Диффузионная сварка разнородных материалов: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Академия, 2006 г., 208 стр.
4. Хазгалиев Р.Г., Мухаметрахимов М.Х., Мулюков Р.Р., Лутфуллин Р.Я. «Твердофазное соединение титанового сплава с нержавеющей сталью через наноструктурированную прослойку из никелевого сплава», Перспективные материалы, 2011, с. 529.
5. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением. – М. Машиностроение, 1986 г. 280 стр.
6. Gleiter H. Nanocrystalline materials // Progr. Mater. Sci. 1989. Vol. 33. P. 223-315.
7. Bokstein B.S., Bröse H.D., Trusov L.I., Khvostantseva T.P. Diffusion in nanocrystalline nickel // Nanostr. Mater. 1995 6, 873.
8. Лариков Л. Н. Диффузионные процессы в нанокристаллических материалах // Металлофизика и новейшие технологии, 1995, т.17, №1, с. 3-29.
9. Сафаров И.М., Хисамов Р.Х., Мулюков Р.Р., Мусабилов И.И. Аномальное поведение микротвердости и электросопротивления нанокристаллического никеля при отжиге. // Письма о материалах, т.2, 2012, стр. 218-221.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНА*Н.Т. Талантов, студент гр. 10Б30, Л.Г. Деменкова, ст. преподаватель**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского**Томского политехнического университета**652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-44-32**E-mail: lar-dem@mail.ru*

Растущий и динамично развивающийся автопарк Российской Федерации и стран СНГ становится с каждым годом все требовательнее к качеству горюче-смазочных материалов, выпускаемых отечественными предприятиями нефтепереработки. Кроме выполнения требований экологических стандартов, постоянно растет потребность в наращивании объема выпуска высокооктановых бензинов с октановыми числами 92, 95 и выше. Октановое число – главная характеристика топливной стойкости к детонации (воспламенению), т.е. процентное содержание изооктана C_8H_{18} , октановое число которого принято за 100, в эталонной смеси с н-гептаном C_7H_{16} , (октановое число равно нулю), при котором обеспечена детонационная стойкость. Если октановое число ниже, чем нужно, то регулярное использование такого бензина приведет к поломке двигателя. Чаще всего наблюдается преждевременный износ клапанов и других деталей двигателя, а также образование сильного нагара. До того как повысить октановое число бензина, следует узнать фактическое число. Октановое число определяют при помощи моторного метода (MON) и исследовательского метода (RON) [6]. Например, в марке бензина АИ-95 буква «И» означает, что при определении октанового числа использовался исследовательский метод, а цифры – это и есть октановое число, определенное таким методом. При использовании моторного метода применяют более жесткий режим испытания, чем при использовании исследовательского метода, поэтому для одной и той же пробы MON всегда меньше RON. В США применяют такую характеристику бензина, как антидетонационный индекс АДИ, равный полусумме значений RON и MON [4]. Приблизительно октановое число можно оценить с помощью октанометра. Этот прибор позволяет проводить диагностику самостоятельно, но результат при этом может быть не точным. Разрабатываемые ведущими производителями современные двигатели могут работать только на топливе с высоким октановым числом. Высокооктановое топливо сгорает с меньшей скоростью, при этом сам процесс проходит плавно, с минимальным давлением на поршни. Двигатели, изначально разработанные под низкооктановое топливо, не могут работать на высокооктановом. В противном случае понадобится полная замена отдельных деталей двигателя.

Переход на выпуск высокооктановых бензинов для многих отечественных предприятий нефтеперерабатывающего комплекса требует серьезных и длительных капиталовложений, которыми они, к сожалению, не всегда располагают. Сложный технологический способ разделения и каталитического преобразования фракций нефти обуславливает высокую себестоимость получаемого продукта, хотя позволяет получить бензин европейского качества с большим октановым числом, например, при гидрокрекинге RON составляет 85-90, при каталитический крекинге – 80-85, при риформинге – 85-97, при изомеризации – 85-90, при алкилировании – 92, при полимеризации – 100 [2].

Именно поэтому применение специальных присадок для производства высокооктанового бензина становится в данном случае оправдано и экономически выгодно. В настоящее время в мировом масштабе наиболее распространенной, экологически безопасной и эффективной присадкой считается безольный антидетонатор – монометиланилин $C_6H_5NHCH_3$ (ММА), который применяется как в чистом виде, так и в виде смесей с другими октановыми компонентами. ММА в составе топлива снижает расход бензина, уменьшает токсичность выхлопных газов. Повышение октанового числа на 5-6 единиц обеспечивается концентрацией ММА около 1- 1,8 % [3].

Октановое число возрастает при добавлении в бензин предельных и ароматических углеводородов разветвленного строения, например, толуола $C_6H_5CH_3$ (с RON, равным 115) или изооктана C_8H_{18} , с RON, равным 100 [3].

В качестве присадок, повышающих октановое число бензина, применяют металлоорганические антидетонаторы, способные обрывать цепные реакции окисления углеводородов, снижая скорость реакции получения молекул перекисных соединений. В СССР вплоть до конца 20 века в качестве металлоорганического антидетонатора использовался тетраэтилсвинец $Pb(C_2H_5)_4$. Химизм протекающего процесса следующий: при сгорании тетраэтилсвинца образуется оксид свинца (II), который может осаждаться в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания. Чтобы удалить нежелательное вещество, используются этилбромид, а образующийся при этом бромид свинца захватывается отходящими газами [6].

Бензин, в состав которого входит тетраэтилсвинец и этилбромид, называется этилированным. Тетраэтилсвинец характеризуется высокой токсичностью, не всегда совместим с технологическими узлами современных транспортных средств и в настоящее время не используется.

Присадки, содержащие $C_2H_5Mn(CO)_3$, в концентрации 100 г на 1 т повышают октановое число на 3-5 ед., однако наносят огромный вред окружающей среде, а также быстро выводят из строя детали двигателя [1].

В наши дни активно используются антидетонаторы, содержащие ферроцен $Fe(C_5H_5)_2$, которые в концентрации 180 г на 1 т повышают октановое число на 4-5 ед., однако образуют на свечах налёт, проводящий электрический ток, вследствие которого свечи быстро приходят в негодность. Несмотря на это, в РФ производится большое количество ферроценовых присадок: ФК-4, Октан-максимум, Феро-3, и др. [1].

Применение присадок, содержащих Pb, Fe и Mn уменьшает ресурс свечей зажигания до 5000-7000 км. Кроме того, такие антидетонаторы запрещены к использованию Международной Хартией производителей топлив, хотя в некоторых странах, в частности, в РФ, разрешается производство бензинов с содержанием железа до 37 мг/л, а марганца - до 18 мг/л [6].

Для повышения октанового числа бензина используют так называемые оксигенаты – метанол CH_3OH , этанол C_2H_5OH , а также эфиры: метил-трет-бутиловый эфир $CH_3OC(CH_3)_3$, этил-трет-бутиловый эфир $C_2H_5OC(C_2H_5)_3$, метил-трет-пентилловый эфир $C_5H_{11}OC(C_5H_{11})_3$, диизопропиловый эфир $(CH_3)_2CHOC(CH_3)_2$. При сгорании метилсодержащих эфиров в окружающую среду происходят выбросы метанола, поэтому их использование нежелательно [1].

Применение спиртов позволяет значительно уменьшить содержание угарного газа в выхлопах автомобиля и увеличить октановое число, например, добавление к АИ-92 этанола в количестве 10 % по массе позволяет превратить его в АИ-95 [4]. Добавление спиртов позволяет увеличить количество кислорода, что обуславливает большую полноту сгорания углеводородов и понижение теплоты их сгорания, а также температуры сгорания. Более того, спирты, испаряясь, поглощают тепло, тем самым уменьшая температурные нагрузки на ДВС и снижая детонацию. Но повышение концентрации кислорода более 2,7 % вызывает увеличение содержания альдегидов в отходящих газах, которые являются очень токсичными веществами [1]. При этом увеличивается расход топлива из-за того, что спирты имеют низкую теплоту сгорания, а также снижается мощность автомобиля. Кроме того, избыток спиртов может привести к повреждению элементов системы подачи топлива.

В спиртосодержащей среде, способной адсорбировать воду, активно идут процессы коррозии цветных металлов, а также может произойти расслоение смеси бензина со спиртом. Поэтому применение оксигенатов в качестве антидетонаторов требует добавления стабилизаторов – пропанола, бутанола, изопропанола. Европейские стандарты ограничивают концентрацию метанола (менее 3 %) и этанола (менее 5 %) [6].

Каждый тип присадки выполняет конкретную функцию: это либо высокоэффективное повышение октанового числа бензина, либо снижение выброса вредных соединений.

Представителями МЭИ было предложено увеличивать октановое число топлива за счет преобразования топлива путем катализа в самом моторе, так как катализ сопровождается снижением температуры рабочего процесса. Эта идея была реализована в виде автомобильного синтезатора-катализатора АСК [5]. Преимуществом способа является достижение лучших экономических и показателей мощности двигателя по сравнению с традиционными методами изменения октанового числа топлива с помощью присадок. Так, автомобиль, потребляя по трассе 8,1 л/100 км при использовании АИ-92, при переходе на АИ-95 начинает потреблять 7,9 л/100 км. При переходе на данную технологию уровень потребления топлива АИ-92 снижается 6,8-6,9 л/100 км. Общая экономия средств в этом случае может составить почти 30 %. Фактическое преобразование топлива начинается после обработки топлива с АСК. Это выражается в том, что топливо, обработанное АСК при газификации и сжатии топливной смеси снижает конечную температуру цикла сжатия на 20-30° и таким образом уменьшает вероятность самовоспламенения топлива, увеличивая октановое число. Увеличение мощности происходит за счет каталитического преобразования топлива, которое снижает температуру смеси и увеличивает ее плотность во входном коллекторе и в цилиндрах. Это аналогично применению в гоночных автомобилях топлива на основе спиртов, которые используются для увеличения мощности моторов и снижения их тепловых и динамических нагрузок. Дальнейшее преобразование происходит в

момент сгорания топлива с помощью изменения хода цепных реакций за счет каталитических центров. Это достигается путем создания в двигателе с помощью каталитических центров особого нелинейного процесса сгорания топлива, которое возникает благодаря преобразованию топлива в начальной стадии сгорания и разложению его на более легкие фракции. Это преобразование происходит за счет потребления тепловой энергии от двигателя и сгораемого топлива и препятствует быстрому росту температуры и давления. Еще несгоревшее топливо экранирует стенки камеры сгорания от теплового потока процесса сгорания, поглощая тепловую энергию и разлагая несгоревшее топливо на более легкие фракции, при этом увеличивая свою энергетiku и снижая нагрев мотора. Это также снижает тепловые потери двигателя и увеличивает его мощность. АСК оказывает влияние на скорость сгорания топлива и протекания реакций таким образом, что в начале процесса он замедляет рост температуры, вводя эндотермическую реакцию. Эта реакция, поглощает тепловую энергию от двигателя и сгораемого топлива, что приводит к замедлению нарастания давления в цилиндрах в момент окончания процесса сжатия топливоздушнoй смеси и в начальный момент воспламенения смеси. В результате протекания этих реакций происходит преобразование топлива и разложение топлива на более легкие фракции, имеющие суммарную энергию и октановое число большие, чем исходное топливо. Например, одна из фракций, содержащаяся в бензине – пентан C_5H_{12} с октановым числом 93 и удельной теплотой сгорания 3509 кДж/моль, может быть преобразована в пропилен C_3H_6 и этан C_2H_6 , которые имеют суммарную теплоту сгорания 3710 кДж/моль – большую, чем у пентана. Октановое число их будет также больше и составит 102 и 112 соответственно. Следует отметить, что это преобразование не приводит к увеличению конечной температуры сгорания и перегреву газораспределительной системы двигателя, так как начальная температура смеси ниже за счет потребления тепловой энергии каталитическим процессом. Затем, когда поршень уходит вниз, происходит окончательное полное сгорание топлива и выделяется дополнительная энергия из преобразованного топлива, а так же энергия поляризованных молекул и активных электронов, присутствующих в обработанном топливе. Таким образом, процесс сгорания становится, более оптимальным, что приводит к снижению нагрева и динамических нагрузок на двигатель. Работа двигателя становится намного тише и мягче. Подобные эффекты не могут быть получены с помощью химических присадок к топливу, служащих для увеличения октанового числа. Применение этой технологии в двигателях внутреннего сгорания аналогично применению при прыжках в высоту гибкого шеста, который сгибаясь и запасая энергию прыгуна на первом этапе, затем на втором разгибаясь, выталкивал его на новые высоты, что существенно улучшило спортивные достижения. Воздействия, подобные эффекту влияния АСК в современных автомобилях, в редких случаях могут случайно получаться при совпадении необходимых каталитических свойств моторного масла, качества топлива, наличия редкоземельных присадок и покрытий (платины) в двигателе и устройства системы зажигания. Гарантированно этот эффект может присутствовать только на гоночных болидах, в двигателях и моторных маслах которых присутствуют редкоземельные металлы, в моторное топливо добавлены спирты, а в серийных автомобилях вероятность его появления отсутствует, так как получить положительный эффект можно только специально подбирая масла, свечи, топливо для каждого автомобиля.

Таким образом, современные способы повышения октанового числа бензина позволяют значительно увеличить стойкость к детонации, не уменьшая мощность автомобиля, при этом нанося как можно меньше вреда окружающей среде.

Литература.

1. Амбарцумян, В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта [Текст]: учеб. пособие для студ. вузов / В.В. Амбарцумян, В. Б. Носов, В. И. Тагасов. – М.: Научтехлитиздат, 2009. – 324 с.
2. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение [Текст]: справочное пособие / Под редакцией В.М. Школьников. – М.: ИЦ «Техинформ», 2009. – 216 с.
3. Милованов, А.В. Топливо и смазочные материалы [Текст]: учеб. пособие для студ. вузов / А.В. Милованов, С.М. Ведищев. – Тамбов: Издательство ТГТУ, 2003. – 236 с.
4. <http://www.womencar.ru>.
5. <http://www.koleya.ru>.
6. <http://gosstandart.gov.by>.

**РЕГЕНЕРАЦИЯ КОМПОЗИТНЫХ НАНОРАЗМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ УРАНА
РАСТВОРАМИ КАРБОНАТА НАТРИЯ И ТРИЛОНА-Б**

Д.Н. Галушкина, М.М. Васильева, Т.Г. Макаревич, студенты гр. 2Г00

научный руководитель: Третьяков А.Н., к.х.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: galushtyan@gmail.com

Человечество, гениально решившее проблему энерговыработки через использование радиоактивного топлива, не продумало одной детали – последствий этого действия. А они весьма серьезны. Не говоря уже о нарушении экологии и сдвига климатических условий, существует ещё одна сопутствующая проблема – накопление радиоактивных отходов. К радиоактивным отходам относятся не подлежащие дальнейшему использованию вещества и материалы, которых содержание радионуклидов превышает нормативные уровни. Главная особенность этого вида промышленных отходов заключается в том, что дальнейшее использование их невозможно из-за того, что любые химические и физико-химические превращения не могут обеспечить биологическую безопасность этих веществ. Поскольку радиоактивность нельзя уничтожить, то технологические процессы переработки жидких радиоактивных отходов позволяют осуществить лишь максимально возможное концентрирование отходов с получением очищенной до предельно допустимой концентрации (ПДК) воды. Дальнейшее обращение с концентратами предусматривает их отверждение и практически вечное хранение в специально оборудованных могильниках. К тому же, стоимость эксплуатации могильников составляет самую большую долю от стоимости всего процесса обращения с радиоактивными стоками. Эта стоимость прямо пропорционально зависит от объема хранимых отходов, который, в свою очередь, обусловлен объемом поступающих на переработку жидких радиоактивных сточных вод, их составом и используемой технологией переработки и отверждения [1].

В последние годы во многих странах мира широко развиваются исследования по созданию сорбентов нового класса, состоящих из веществ биогенного происхождения (биосорбенты). Например, их производят из микробной массы или грибов, являющихся отходами микробиологической промышленности. В предыдущих работах были изучены сорбционные свойства композитных материалов на основе плесневых грибов вида *Aspergillus niger* и наночастиц оксидов металлов: титана, железа, меди и алюминия [1-3]. Основными предпосылками для использования таких композитных материалов являются:

- осаждение нанотрубок на грибы для более легкого извлечения;
- активные сорбционные свойства плесневых грибов и наночастиц как самостоятельных сорбентов.

Особенно большое значение для промышленного применения сорбентов урана приобретает десорбция. Десорбция – уменьшение концентрации компонента в поверхностном слое вещества по сравнению с ее значением в каждой объемной фазе. Десорбция – процесс, обратный адсорбции. Для восстановления сорбционных свойств сорбентов, содержащих загрязнения, производят в нейтральной или щелочной среде, в качестве десорбата был применен раствор карбоната натрия 0.45г на 150 мл воды. Для проведения опытов было выбрано 5 композитных растворов *Aspergillus niger* и наночастиц оксидов металлов. Исходная концентрация урана составляла 1200 мкг/л. Содержания урана в воде после проведения сорбции и десорбции приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Концентрация урана после проведения сорбции раствором карбоната натрия (до десорбции)

Композитный раствор	Концентрация урана, мкг/л				
	1	2	3	4	5
Fe ₃ O ₄ @ <i>Aspergillus niger</i>	113,7	115,1	114,6	109,4	109,0
AlOOH@ <i>Aspergillus niger</i>	69,8	69,2	68,4	67,2	66,7
TiO@ <i>Aspergillus niger</i>	103,5	103,0	102,0	101,9	103,0
CuO@ <i>Aspergillus niger</i>	110,8	113,5	113,8	112,4	111,5

Таблица 2

Концентрация урана после проведения десорбции раствором карбоната натрия

Композитный раствор	Концентрация урана, мкг/л				
	Fe ₃ O ₄ @ Aspergillus niger	1028,00	1017,00	1011,00	1012,00
AlOOH@ Aspergillus niger	481,60	485,40	478,80	478,40	482,80
TiO@ Aspergillus niger	277,50	277,00	278,30	274,10	276,30
CuO@ Aspergillus niger	802,20	796,80	797,80	796,60	798,90

Часто, для проведения десорбции тяжелых и радиоактивных металлов используют органические комплексообразователи. Наиболее востребованными являются растворы этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА). Нами было апробирована десорбционная активность ЭДТА для регенерации композитных сорбентов.

Проведение десорбции растворами (ЭДТА) показало, что для регенерации сорбентов урана целесообразнее использовать более концентрированный раствор ЭДТА. Испытания проводились с 1-процентным (1г/99мл) и 5-процентным (5г/95мл) растворами ЭДТА и применялись для сорбентов на основе Aspergillus niger и наночастиц оксидов меди и титана. Для изучения поведения десорбата в разных кислотно-щелочных обстановках, были выбраны следующие растворы: CuO@ Aspergillus niger (pH 6-7), CuO@ Aspergillus niger (pH 2-3), TiO@ Aspergillus niger (pH 2-3).

Измерения показали, что процесс десорбции наиболее активно протекает в растворе с наночастицами оксида меди при величине pH 2-3, то есть в более кислой среде. Остальные сорбенты достаточно прочно удерживают уран, что препятствует процессу десорбции.

Таблица 3

Концентрация урана после проведения сорбции раствором ЭДТА (до десорбции)

Композитный раствор	Концентрация урана, мкг/л				
	CuO@ Aspergillus niger (pH 6-7)	98,6	95,64	98,17	96,62
CuO@ Aspergillus niger (pH 2-3)	37,75	36,5	37,73	34,12	34,5
TiO@ Aspergillus niger (pH 2-3)	159,1	159,9	157,3	157,3	158,7

Таблица 4

Концентрация урана после проведения десорбции раствором ЭДТА

Композитный раствор	Концентрация урана, мкг/л				
	CuO@ Aspergillus niger (pH 6-7)	52,13	51,68	51,26	51,05
CuO@ Aspergillus niger (pH 2-3)	111	113,3	111,2	112,4	113,3
TiO@ Aspergillus niger (pH 2-3)	101,8	99,52	103	96,74	94,12

Сравнивая десорбционную способность растворов, следует отметить, что использование раствора карбоната натрия гораздо эффективнее. Результаты исследования десорбционной способности растворов карбоната натрия и ЭДТА показаны на рис. 1.

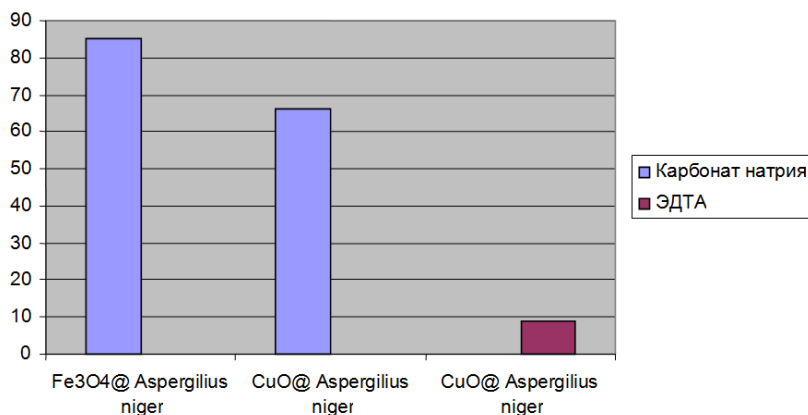


Рис. 1. Десорбционная способность растворов карбоната натрия и ЭДТА, %

Из графика видно, что десорбционная способность раствора карбоната натрия во много раз превосходит десорбционную способность раствора ЭДТА. Также следует отметить, что наиболее эффективно десорбат проявляет себя в растворах с наночастицами оксида железа, где его десорбционная способность достигает 85%. Кроме того, наночастицы железа обладают магнитными свойствами, что даёт существенное преимущество этим частицам при их извлечении из водной среды, а также возможность их вторичного использования.

Таким образом, композитные сорбенты легко подвергаются регенерации растворами карбонатов. Данный факт говорит о перспективности многократного использования композитных сорбентов для очистки водных сред.

Литература.

1. Л.Ф. Горовой, В.Н. Косяков Клеточная стенка грибов – оптимальная структура для биосорбции // Биополимеры и клетка, - 1996, - Т.12, - №4, - с.49-60;
2. Селиверстов А.Ф. Сорбция хитином, хитозаном и хитинсодержащими материалами радиоактивных элементов из водных растворов. Дис. ... канд. хим. наук. – Москва, 2004г. – 120 с.
3. Xu, Mingze; Wei, Guodong et al Titanate Nanotubes as a Promising Absorbent for High Effective Radioactive Uranium Ions Uptake // Journal of Nanoscience and Nanotechnology, - Vol. 12, - № 8, - pp. 6374-6379.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.А. Киреева, Д.О. Котова, студенты гр.17290

научный руководитель: Мальчик А.Г., доцент, к.т.н.

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

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 6-49-42

E-mail: okireeva.92@mail.ru

В настоящее время во всем мире внедряется концепция экологической оценки строительных материалов и рационального их выбора с точки зрения экологической безопасности для окружающей среды и для человека. Вводятся понятия – экологическая оценка, жизненный цикл материала (ЖЦМ), классификация материалов согласно требованиям по защите окружающей среды, экологически целесообразный выбор строительных материалов и др.. В рамках всемирной концепции «Устойчивого развития» решается задача формирования экологического мировоззрения для решения глобальных и частных экологических проблем среды обитания человека. Эта позиция определена в международных стандартах серии ИСО (ISO) 14000 «Система управления качеством окружающей среды» и, в частности, стандартами ИСО 14040 –14044, ориентированными на экологическое качество продукции. При этом акцент делается на решение основных, глобальных экологических проблем - ресурсосбережение и предотвращение загрязнения окружающей среды при строительстве.

Как новое строительство, так и реставрация сопряжены с использованием разнообразных по природе строительных материалов, которые в большей или меньшей степени благоприятны человеку и не одинаково влияют на окружающую среду, как за счет изъятия природных ресурсов, так и привнесения в неё загрязнителей. Производство строительных материалов предполагает добычу и переработку природных ресурсов, потребление энергии, воды. При этом часто происходит истощение ресурсов, уничтожение экосистем, ландшафтов, процесс загрязнения среды приводит к изменению климата на планете, образованию озоновых дыр; образование отходов может превращать плодородные земли и привлекательные ландшафты в пустыни. Это отрицательно сказывается на здоровье людей и косвенно влияет на качество строительства. Поэтому важно выбрать эффективные материалы не только с экономической и эстетической, но и с экологической точки зрения. Для этого необходима экологическая оценка и классификация строительных материалов согласно требованиям по защите окружающей среды. В этом случае нужно, принимая решение об использовании материала, уметь оценить прямые и косвенные его воздействия на окружающую среду и человека с экологических позиций.

Методические подходы к экологической оценке строительных материалов согласно стандартов ИСО – 14000 могут быть различными, но обязательно анализируются связанные с ними нагрузки на окружающую среду по жизненному циклу материала. При таком подходе учитывается влияние не только самого материала, но и процессов его, сопровождающих от добычи сырья для его

изготовления, до уничтожения, захоронения или, что более предпочтительно, повторного его использования для изготовления новых материалов. Это позволяет «замкнуть» их жизненный цикл и решить экологические задачи - сократить количество отходов и способствовать ресурсосбережению. Материалы рассматриваются и оцениваются по экологической безопасности не по принципу «здесь и сейчас», а «везде и всегда». При этом оцениваются не только прямые (явные) негативные воздействия, такие как эмиссия вредных веществ, образование отходов и т.п., но и косвенные эффекты (дефицит сырья, влияние на здоровье человека, ухудшение качества окружающей среды, нагрузки при перевозке материалов и т.д.). Для обеспечения объективности результатов анализа рассматриваются взаимосвязанные параметры «свойства материала – качество среды».

Цель работы: овладение методикой экологической оценки материалов по критериям их экологической безопасности для окружающей среды и человека.

Оценка экологических эффектов взаимодействия строительных материалов с окружающей средой базируется на комплексе независимых методов:

- метод сопоставительного анализа (экспертный анализ, метод рассуждений) базируется на имеющейся научной информации, ее анализе и последующих логических рассуждениях. Он дает относительную оценку нагрузок на человека и окружающую среду и позволяет расположить сравниваемые материалы в порядке экологического предпочтения, классифицировать их по экологическому качеству. Результатом являются карты экологического выбора строительных материалов, которыми может пользоваться потребитель;
- системный анализ (метод «черного ящика») заключается в анализе и математической оценке всех входящих и выходящих потоков. Используется для расчета «экобаланса», воздействий материала на среду и оценки последствий этих влияний;
- метод графов (ориентированные графы для решения многокомпонентных эколого-экономических задач) позволяет оценить прямые и обратные связи – «качество строительства – качество среды»;
- квалитетрический метод (для оценки интегрального качества материала).

Все материалы, представленные сегодня на рынке строительной продукции могут быть классифицированы по экологическим свойствам. Материалу, подобно тому, как им присваивается экологическая марка, может быть присвоен класс экологического качества после процедуры экологической оценки его свойств по жизненному циклу. Обычно строительным материалам, минимально нагружающим окружающую среду (например, по шкале нагрузок – не более 6 баллов) по их ЖЦ и не содержащим в своем составе опасных веществ присваивается 1-й класс экологического качества. В случае, если нагрузки на окружающую среду средние - материалу может быть присвоен 2-й или 3-й класс. Материалы с высокими показателями нагрузок и содержащие в своем составе вредные для здоровья вещества считаются не экологичными и их стараются вообще не применять в жилищном строительстве. Использование такой классификации облегчает выбор материалов и для нового строительства и для реставрации.

За рубежом даже появились базы данных с информацией о классах экологического качества строительных материалов в виде справочных информационных карточек. Эти карточки обновляются по мере получения новых знаний по экологическим свойствам СМ и появления новой строительной продукции.

Нами была разработана информационная карточка экологического выбора строительных материалов для выполнения внутренних штукатурных работ.

Алгоритм методики выбора материала методом «экологического предпочтения» можно представить рядом последовательных действий. Он включает следующие этапы:

- выбор по каталогам строительной продукции материалов, которые могут быть использованы по одинаковому назначению.
- материалы оценивают по ЖЦ, классифицируют и располагают в ряд убывающего экологического предпочтения к применению. При этом обязательно следует учесть все возможные негативные влияния сравниваемых материалов на окружающую среду и человека.
- основная информация, по которой присваивается тот или иной класс экологического качества переносится в сводную таблицу, названную «информационной карточкой экологического выбора СМ».
- текстовая часть «карты» должна быть представлена четырьмя информационными «окнами» и обязательно содержать следующие разделы:

Таблица 1

Вид работ		Штукатурные работы внутри здания		
СМ – для выравнивания стен				
Вид СМ	Предпочтение 1	Предпочтение 2	Предпочтение 3	Избегать
	Сульфогипс (химический гипс)	Известковый раствор	Природный гипс	Фосфогипс (химический)
Экологические предпочтения	<p>1 – Для штукатурных работ внутри дома имеет первое предпочтение сульфогипс перед природным гипсом и известковым раствором из соображения, что сульфогипс является вторичным продуктом, не содержит вредных примесей и не радиоактивен.</p> <p>Его применение позволит одновременно решить экологические проблемы, связанные с добычей природного гипса (например, не допустить истощения природного сырья) и накоплением отходов. Для производства сульфогипса требуется меньше энергии, чем для других материалов, например, известкового раствора и природного гипса.</p> <p>2 – Известь сравнительно легче подвергается переработке и из-за этого производственный процесс относительно чист.</p> <p>3 – При добыче природного гипса происходит повреждение экосистем, кроме того это сырье не возобновляемое.</p>			
Избегать	<p>Фосфогипс – тоже отход (побочный продукт) при производстве минеральных удобрений. Однако он содержит радиоактивные примеси (стронций). Это затрудняет его переработку в продукт. Материалы из фосфогипса создают радиоактивное излучение. Из-за того, что штукатурки используются ограниченной толщины, риск излучения меньше, чем при применении плит или блоков. Несмотря на это, рекомендуется избегать применения фосфогипса даже в штукатурке.</p>			
Основной комплект	<p>В основной комплект экологических предпочтений в РФ входит природный гипс. Комплект продуктов на его основе широко представлен на рынке, поставки не ограничены. По всей вероятности, вскоре и сульфогипс будет поставляться широко, так как на ТЭС внедряются системы очистки дымовых газов от SO₂ и остаточным продуктом работы очистных установок будет химический гипс – сульфогипс.</p>			
Примечание	<p>Внимание! некоторые фирмы выпускают строительные материалы из фосфогипса. Следовательно, целесообразна проверка этих СМ на радиационную безопасность.</p>			

Из представленного примера видно, что при экологическом выборе материала и его использовании речь идет о предпочтительном использовании тех из них, которые меньше всего нагружают окружающую среду и являются экологически безопасными для человека. Экологически целесообразный выбор материалов определяет, в таком случае, не только долговечность зданий и сооружений, но и реальную перспективу экологической комфортности и гарантированной безопасности для здоровья человека среды внутри помещений и сохранение экологической устойчивости окружающей природной среды для «экологического здоровья» нашей планеты.

Основными принципами выбора строительных материалов методом экологического предпочтения считаются следующие:

- думать глобально;
- выбирать вариантно;
- использовать только материалы безопасные для человека;
- предпочтительно использовать материалы, минимально нагружающие окружающую среду;
- использовать материалы строго по показателям их назначения;
- использовать долговечные материалы;
- использовать полифункциональные материалы;
- использовать только качественные материалы;

- использовать ресурсо- и энергосберегающие материалы;
- использовать экономно – избегать отходов;
- использовать материалы из возобновляемого сырья;
- использовать материалы ремонтнопригодные и легко заменяемые;
- использовать материалы легко сортируемые после окончания срока их использования;
- использовать материалы, которые будут в конце их ЖЦ пригодны для повторного использования.

Литература.

1. Кондратенко Т. О., Сайбель А. В. Экологическая оценка при выборе строительных материалов для нового строительства, реконструкции и реставрации [Электронный ресурс] //Инженерный вестник Дона. – 2012. – №. 4 часть 2.
2. ГОСТ 4.200-78. (Строительство. Система показателей качества продукции)
3. Б.В.Гусев, В.М.Дементьев, И.И.Миротворцев. «Нормы предельно-допустимых концентраций для стройматериалов жилищного строительства». Строительные материалы, оборудование, технологии XXIвека. 1999, №5
4. Handleiding Duurzame Woningbouw. Milieubewuste materiaalkeuze bij Nieuwbouw en Renovatie. An-ink D., Mak J., de Haas F., Boonstra C., Willers W.– Stuurgroep Experimenten Volkshuisvesting, Rotterdam, November 1993, ISBN: 90-5239-095-9.

РАЗЛИЧИЕ МОДИФИКАТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА СТАЛИ

А.С. Шарафутдинова, студент гр. 10В10,

научный руководитель: Федосеев С.Н., асс. каф. МЧМ

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

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел.: 8 (384-51) 6-22-48

E-mail: fedoseevsn@list.ru

Обработка металла в ковше позволяет довести его до заданного химического состава, оптимизировать температуру расплава, понизить содержание серы и загрязненность неметаллическими включениями. Но проектирование и строительство современных сталеплавильных комплексов с агрегатами типа печь-ковш и другой сложной техникой требует значительных затрат.

Жидкая сталь после выпуска из плавильного агрегата и последующей обработки в ковше может быть однородной по химическому составу и характеризоваться высокой чистотой по неметаллическим включениям. Однако затем ситуация существенно меняется.

В процессе разливки металла происходит его вторичное окисление, вследствие чего эффект от рафинировочных операций, проведенных в ковше, в значительной степени ослабевает. Кроме того, в процессе кристаллизации металлического расплава происходит снижение растворимости в железе кислорода (в 10 раз) и серы (в 20 раз). Поэтому при затвердевании металла вследствие ликвационных процессов происходит неравномерное распределение в слитке углерода, серы и фосфора. Качество готовой продукции определяется не только получением в составе металла в ковше значительно низких концентраций вредных примесей, на достижение которых требуются значительные материальные затраты.

Путем снижения химической (зональной и дендритной) неоднородности литого металла можно добиваться улучшения всего комплекса его потребительских свойств без применения длительных и дорогостоящих обработок в ковше. Десульфурация металла до содержания 0,003–0,005% серы не ведет к повышению вязкости стали, достижению полной изотропности ее механических свойств и не оправдано экономически. Кроме того, при затвердевании металла происходят трансформация имеющихся в расплаве выделений, образование и рост новых неметаллических включений. Таким образом, формирование качества конечной продукции в определяющей степени зависит не столько от тех манипуляций, которые были произведены с металлом в печи и ковше, сколько от технологии разливки и методов обработки металла на этой заключительной стадии производства жидкой стали.

Особенно большой вклад в снижение качества металла вносят трудноудаляемые глиноземистые включения, присутствующие в прокате в виде строчек, а также легкоплавкие сульфидные включения, располагающиеся по границам зерен. Эти загрязнения провоцируют образование трещин и других пороков поверхности в деформированном металле. Появление таких дефектов приводит к снижению выхода годного, повышению трудозатрат на обрезку и зачистку поверхности и ведет к ухудшению всего комплекса механических характеристик металла. В связи с этими обстоятельства-

ми введен ГОСТ 24182–80, запрещающий использование металлического алюминия для производства рельсов группы качества и допускающий использование для этих целей только комплексных ферросплавов, микролегирующих добавок (титан, цирконий, ниобий) и модификаторов с кальцием, барием, магнием.

Обработка металла многокомпонентными реагентами позволяет достигать более высокой степени рафинирования от оксидных неметаллических включений, более равномерного распределения в слитке оставшихся или вновь образовавшихся выделений. Этот эффект связан с тем, что возникновение комплексных зародышей оксидной фазы в расплавах железа вследствие их более низкого межфазного натяжения может происходить при более низких пересыщениях, вследствие чего формирование крупных и в дальнейшем полнее удаляемых из расплава первичных продуктов раскисления идет более активно [1].

Отметим, что образование критического зародыша новой фазы облегчается в присутствии в металле второго раскислителя. Этот факт имеет особое значение для образования включений при затвердевании расплава, содержащего в своем составе поверхностно-активные примеси. Известен, например, результат [2], когда вследствие воздействия кальция и бария произошло измельчение дендритных осей. Модифицирование кальцием привело, по данным авторов этой работы, к увеличению количества содержащих серу соединений в осях дендритов при концентрации кальция в металле 0,004%. Вследствие введения в жидкий расплав редкоземельных металлов происходит ослабление или даже полное исчезновение U образной и Л образной ликвации [3]. Авторы считают, что редкоземельные металлы, связывая серу в прочные тугоплавкие соединения, снижают ее концентрацию перед фронтом кристаллизации. Представляет интерес и гипотеза механизма действия примесей в связи с образованием неметаллических включений при кристаллизации металла [4].

Предполагается, что образование неметаллических включений в период затвердевания расплава идет на гранях растущих кристаллов по экзотермическим реакциям. Дополнительно выделяющаяся при этом теплота способствует снижению скорости роста кристаллов, ведет к оплавлению отдельных ветвей дендритов, которые становятся новыми центрами кристаллизации.

Таким образом, эффективность введения в жидкий расплав комплекса ШЗМ и РЗМ элементов в литературе многократно доказана. Необходимо отметить, чтобы поверхностно-активные примеси к моменту начала затвердевания присутствовали в кристаллизующемся расплаве в растворе, а не только в виде соединений с серой и кислородом. Добиться этого можно, по-видимому, только при условии обработки металла кальцием или другими легкоокисляющимися элементами непосредственно перед затвердеванием слитка или отливки, например в ходе разливки металла, а не в ковше.

При производстве стального и чугунного литья успешно применяется модифицирование металла кальцийсодержащими реагентами. При введении в стальной расплав кальция, обладающего более высокой раскислительной способностью, чем алюминий, наблюдается трансформация оксидов алюминия в алюминаты кальция, формирующиеся к тому же в сульфидной оболочке. В результате получают отливки с более высокими механическими свойствами, пониженной трещиноватостью. Модифицирование кальцием получило развитие и при производстве относительно больших объемов металла, разливаемого в слитки и подвергающегося в последующем деформации. Включение во внепечную обработку операции модифицирования металла простейшей композицией в виде силикокальция позволяет существенно снизить загрязненность металла неметаллическими включениями, повысить уровень механических характеристик. Присадка легкоокисляющихся сплавов, какими, как правило, являются модификаторы, наиболее удачна, если она осуществляется путем подачи проволоки, начиненной реагентом, а не добавкой кусков силикокальция непосредственно в ковш в ходе выпуска металла из печи. Усвоение кальция при добавке его кусками в ковш находится в пределах 1,0 – 10,0 %, при введении силикокальция в ковш проволокой – в пределах 21,0 – 42,0 % [5]. Столь высокий уровень усвоения кальция во втором случае можно объяснить тем, что авторами в расчет было принято содержание кальция сразу после его ввода в ковш и снижение содержания кальция в металле в ходе разливки, по-видимому, не было учтено.

Модифицирование металла путем подачи проволоки в ковш не лишено ряда недостатков. Во-первых, велики потери легкоокисляющихся элементов (кальция, алюминия, титана и др.) из-за окисления их покровным шлаком, атмосферным воздухом, футеровкой ковша; во-вторых, для организации работы по этому методу необходимы значительные капитальные затраты; в третьих, возникают технологические трудности, связанные с присадкой кальцийсодержащих реагентов в сталеразливочный ковш: наблюдается зарастание стаканов отложениями глинозема и сульфида кальция; в четвертых, из-за

плохой управляемости теплофизическими и физико-химическими процессами, происходящими в ковше, возникают трудности в достижении оптимальных остаточных содержаний в металле кальция.

Многие из этих проблем устраняются перенесением модифицирования стали из ковша на разливку. При этом существенно повышается эффективность воздействия присадок, благодаря тому, что обработка ведется непосредственно перед затвердеванием металла. Результат такой обработки – не только более глубокое «химическое» воздействие, выражающееся, например, в получении более благоприятной глобулярной формы включений, но и «физическое» воздействие, обеспечивающее изменение условий затвердевания слитка (например, инокулирующее действие вводимых в жидкий расплав твердых металлических частиц модификатора).

Следовательно, отметим, что под модифицирование понимается введение в металлические расплавы модификаторов – веществ, небольшие количества которых (обычно не более десятых долей %), вызывают формирование структурных составляющих в округлой или измельченной форме и способствуют их равномерному распределению в основной фазе, что улучшает механические свойства металла.

Литература.

1. Концентрационные условия зарождения продуктов раскисления алюминия, титана, кремния в жидком железе. \ Д.Я. Поволоцкий, В.Е. Рощин, А.Д. Дрозин, Ю.В. Сорокин \ Изв. АН СССР. Металлы. 1977, №
2. Влияние металлического кальция и бария на дендритную структуру и неметаллические включения стали 20Л. \ С.В. Коваленко, В.И. Кучкин, В.С. Коваленко \ Изв. вузов ЧМ. 1990, № 12.
3. Влияние редкоземельных элементов на кристаллизацию стали. \ В.Б. Бессонов, Б.А. Буклан, В.А. Ефимов и др. \ Сб. Проблемы стального слитка, М. 1976.
4. Роль неметаллических включений в процессах кристаллизации стали. \ А.Н. Сучков, А.В. Морев. \ Сб. Неметаллические включения и газы в литейных сплавах. Запорожье, 1979.
5. Использование порошковой проволоки для микролегирования и модифицирования стали. \ Ю.Е. Боженко, С.П. Коршиков, И.П. Потапов, Н.В. Посемин \ Сталь, 2000, № 7.

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ЖЕЛЕЗА ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

С.Н. Федосеев, асс. каф. МЧМ

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

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел.: 8 (384-51) 6-22-48

E-mail: fedoseevsn@list.ru

В настоящее время комплексное использование техногенных отходов металлургических комплексов приобретает особое значение в связи с ростом экологических проблем и снижением уровня содержания целевых компонентов в исходном сырье.

Проблема получения металлического железа весьма остро стоит вследствие истощения традиционных источников получения этого металла и перехода к интенсивным технологиям. Это обусловлено появлением большого количества железосодержащих отходов, в частности растворов травления, содержащих значительное количество ионов металла. Основная масса порошков железа изготавливается с использованием традиционного сырья (сталь, окалина, металлическая губка). Однако, как утверждают специалисты, будущее за прямым получением порошков из руд, концентратов, отходов металлургии и химической промышленности.

Из всех видов исходного сырья лишь немногие (стружка, лом, скрап и т.д.) содержат главный компонент – железо в металлическом состоянии. В большинстве же случаев железо в исходном состоянии находится в окисленной форме.

Большое количество железа содержится в отработанных промышленных растворах: растворах травления, химического и электрохимического полирования, электролитах железнения и т.д. Это позволяет рассматривать их как потенциальные источники получения металлического железа. Актуальность этой проблемы обусловлена еще и тем, что при нынешних темпах производства и потребления железа в ближайшие 50 лет мировые запасы богатых железных руд начнут исчерпываться.

Железо в отработанных промышленных растворах содержится, в основном, в степени окисления (III). Восстановление ионов железа (III) до металла возможно при использовании электролиза или водо-

рода. Электролиз идет достаточно продолжительное время (до 120 часов), что обуславливает значительные затраты энергии и материалов. Восстановление водородом проводят в реакторе – автоклаве при высоком давлении и температуре. Этот метод характеризуется взрыво – и пожароопасностью.

Применяемые для получения железа в свободном состоянии традиционные восстановители – водород, гидрид кальция, тетрагидридоборат калия или натрия, а также электрический ток – не всегда могут быть использованы с достаточной степенью эффективности. Наиболее простым, относительно недорогим и малоэнергоёмким можно считать электрохимический метод.

Наиболее массовыми отходами являются:

- окалины;
- шламы различного происхождения;
- железосодержащая пыль.

В ряде случаев возвращение таких отходов в рецикл производства не целесообразно вследствие их загрязнения разнообразными ингредиентами органическими и неорганического происхождения. Поэтому в некоторых случаях целесообразно проводить утилизацию этих техногенных отходов с учетом их химического состава и получением ликвидной товарной продукции.

В этой связи можно предложить следующие процессы переработки:

- получение химических реактивов на основе железа достаточно высокой квалификации;
- получение железного порошка или композиций на его основе с заданными физико-химическими и физико-механическими характеристиками;
- синтез коагулянтов для очистки природных и сточных вод;
- получение компонентов и материалов для строительства, включая дорожное

Комплекс мероприятий позволит извлекать железо из растворов его соединений с содержанием $\geq 2\%$. При этом в ряде случаев возможно получение железа в элементном состоянии, которое может быть использовано как в дисперсном, так и в компактированном состоянии. Эффективность процесса выделения железа составляет $>90-95\%$. Схема переработки представлена на рис. 1.



Рис. 1. Комплексная схема переработки отходов железа черной металлургии

Следует отметить, что химический состав раствора существенно образом влияет на состав осадка. Так, например, результаты микронзондового рентгеноспектрального анализа образцов железа, восстановленных из электролита, полученного путем растворения окалины (состав, %: Fe_2O_3 90,53;

Fe_3O_4 4,9; SiO_2 3,30; CaO 0,11; S 0,007; P 0,006; $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{TiO}_2$ $\Sigma=1,117$) в хлороводородной кислоте и промышленным пирометаллургическим способом (ПЖРВ-2) [1]. В результате электронномикроскопического исследования было выявлено, что частицы порошка ПЖРВ-2 имеют округлую каплевидную форму, а частицы восстановленного железа – сферическую, с отчетливо наблюдаемыми на поверхности ямками травления и субзародышами (рис. 2). Микроанализ показал, что железо, полученное восстановлением из электролита, содержит 0,45 % Al, <0,1 % Si, 0,2 % Ti, <0,1 % Ni, а металлургическое железо – 1,2 % Al, 0,3 % Si, 0,25 % Ti, 0,25 % Ni, 0,35 % K [2].

По данным рентгеновского фазового анализа и локального микроанализа [3], полученные при использовании дисперсного алюминия (фракция 71–100 мкм) образцы представляют собой механическую смесь кристаллов α -железа и алюминия. После промывки осадка в концентрированном растворе NaOH (удаление остаточного кислого раствора) было зафиксировано, что он состоит из одной фазы – α -железа с объемно-центрированной кубической решеткой. Следует отметить, что размер кристаллитов железа (грань 110), полученного из раствора FeCl_3 путем восстановления дисперсным алюминием, составляет 24,569 нм.

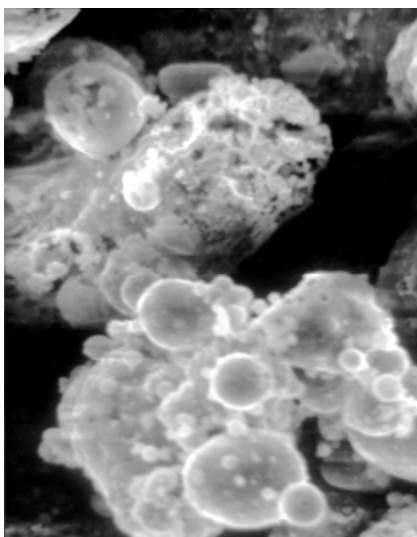


Рис. 2. Микрофотографии частиц осадка железа

Согласно данным электронной микроскопии [3], частицы полученного в рассматриваемом случае железа имеют сферическую или близкую к ней форму и различные размеры. Большие частицы (40–50 мкм) несут на своей поверхности субиндивиды сферической формы меньших на 1–2 порядка размеров, а также – ажурную сеть нитевидных зародышей в микротрещинах и порах. Травление частиц в щелочи еще более усложняет картину явления. Наличие большого количества зародышей на поверхности крупных частиц в сочетании с системой трещин и пор обуславливает развитость поверхности металла, что может оказаться весьма существенным при использовании такого материала в качестве катализатора. Кроме того, их существенным признаком является наличие внутренних полостей. Все это обеспечивает специфичность физических характеристик таких порошков, например, малую насыпную плотность (1,2–1,3 г/см³) [4].

При отсутствии процедуры выдержки осадка в щелочи, в нем отмечается появление аморфной фазы, по всей видимости, псевдобемита, а с течением времени – также кристаллов байерита, образующихся из метастабильных продуктов растворения примеси – алюминия.

Маточный раствор после восстановления железа и его отделения экологически мало опасен и может быть использован в качестве коагулянта при очистке промышленных стоков. Следует отметить, что соли железа (III) являются хорошими коагулянтами и используются наряду с соединениями алюминия (III) для очистки природных или сточных вод. Так, например, в нашей стране выпускается более 400 тыс. тонн/год коагулянтов только на основе соединений алюминия. Тем не менее, ощущается их существенная нехватка.

Получаемые коагулянты представляют собой раствор на основе полимерных гомо- и гетеролигандных комплексов железа или железа и другого металла (алюминия, титана, кремния). Как пока-

зали исследования в растворе находятся ионы $\text{Fe}(\text{OH})^+$, которые полимеризуясь через ол- и оксо- группы образуют, например, с ионами $\text{Al}^{3+}_{\text{aq}}$ комплекс $[\text{Fe}(\text{II})\text{Al}(\text{III})\text{O}_x(\text{OH})_y]^{(7-2x-y)+}$, придающий раствору бледно-голубую окраску. С течением времени в результате контакта с атмосферой или искусственным путем происходит окисление $\text{Fe}(\text{II})$ в $\text{Fe}(\text{III})$, что сопровождается сменой окраски сначала на зеленую, а затем на желто-коричневую. Проведенный анализ, как химического состава, так и показателей качества такого коагулянта показывает, что последний по ряду показателей не уступает отечественным и зарубежным аналогам.

В заключение можно отметить, что предлагаемый комплексный подход позволяет обеспечить:

- высокую степень извлечения железа в виде дисперсного металлического порошка с размерами частиц в пределах 1–100 мкм;
- проводить очистку промышленных стоков от ионов и взвешенных частиц железа до уровня экологических требований;
- различные варианты рентабельного использования железного порошка;
- резкое снижение объемов отходов основного производства.

Литература.

1. Гиршов В.Л. Переработка металлической стружки способами порошковой металлургии и пластической деформации / В.Л. Гиршов, А.И. Рудской, В.Н. Цеменко // Тр. СПбГТУ. – 2009. – № 510. – С. 18-28.
2. Глубокая переработка отходов металлургического производства / Т.В. Башлыкова, Г.А. Пахомова, А.Б. Живаева и др. // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. тр. – 2007. – Вып. 5. Материалы 5 Междунар. науч.-техн. конф. – С. 163-166.
3. Гоник И.Л. Оксидоуглеродный брикет – современный способ переработки железосодержащих металлургических отходов / И. Л. Гоник, Н.А. Зюбан, Н.А. Новицкий // Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов «ТЕХНОГЕН – 2012»: тр. Междунар. конгресса, посвящ. 80-летию науки Урала. – Екатеринбург, 2012. – С. 259-261.
4. Евдокимов С.И. Переработка отходов металлургического производства с целью комплексной утилизации / С.И. Евдокимов, В.С. Евдокимов // Цветная металлургия. – 2013. – № 4. – С. 57-63.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗВЕСТНЫХ СОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИХ ЗАГРУЗОК

*Д.В. Мартемьянов, инж., Ю.Р. Мухортова, инж., Д.Н. Мухортов, инж.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-41-69-76
E-mail: martemdv@yandex.ru*

Одной из самых распространённых проблем, при использовании воды из подземных источников, является наличие в ней в растворённом виде железа и часто марганца [1-2]. В подземных водах присутствует, в основном, растворённое двухвалентное железо в виде ионов Fe^{2+} , а также марганца Mn^{2+} . Для извлечения растворённых в воде Fe^{2+} и Mn^{2+} сначала необходимо их окислить и перевести в нерастворимую форму. На практике, в качестве окислителей применяют кислород воздуха, перманганат калия, хлор и озон и др. Окисленное железо и марганец в виде гидроокисей отфильтровывается на гранулированной загрузке. Данная стадия обычно сопряжена с механической фильтрацией воды и может производиться на таких загрузках как: песок, гравий, антрацит. Однако их эффективность улавливания очень низкая, из-за длительности процесса окисления и формирования хлопьев. Данные загрузки более эффективно начинают работать только после образования и накопления на поверхности их гранул слоёв гидроокиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, действующей как катализатор с дальнейшим окислением [3-4].

Для лучшего окисления, растворённого в воде Fe^{2+} и Mn^{2+} , применяют специальные сорбционно-каталитические загрузки, позволяющие с высокой эффективностью проводить обезжелезивание и деманганацию воды. Нормы содержания в питьевой воде Fe^{2+} и Mn^{2+} составляют по СанПиН 2.1.4.1074-01 0,3 мг/дм³ для железа и 0,1 мг/дм³ для марганца. Среди широко применяемых сорбционно-каталитических загрузок, рассмотрим загрузки: Бирм (Birm), МФО-47, МС, ОДМ-2Ф. В различных литературных источниках, производители представленных и других сорбционно-каталитических загрузок, зачастую указывают противоречивую информацию об эффективности производимой ими продукции. Поэтому актуальной является задача исследования свойств данных загрузок, с целью определения сравнительной эффективности представленных образцов при идентичных условиях.

Материалы и методы исследования

В данной работе осуществляется сравнение полученных структурных и сорбционных характеристик образцов загрузок, а также их окислительной способности, при извлечении железа из модельного раствора. Образцы сорбционно-каталитических загрузок брались со следующим размером гранул: Бирм (Birm) (0,42 - 2 мм); МФО-47 (0,5 - 1,5 мм); МС (0,7 - 1,5 мм); ОДМ-2Ф (0,5 - 2) мм.

Структурные характеристики сорбционно-каталитических материалов определяли с использованием метода тепловой десорбции азота. Проводя измерения на анализаторе «СОРБОМЕТР М», оценивали площадь удельной поверхности ($S_{уд}$) и значения удельного объема пор (P) исследуемых образцов.

Сорбционные характеристики образцов исследуемых материалов определяли в процессе осадительной сорбции, с применением раствора содержащего Fe^{2+} . Модельный раствор готовился из железа (II) сернокислого 7-водного (ХЧ), на дистиллированной воде, с концентрацией $C(Fe^{2+}) = 10,47 \text{ мг/дм}^3$. Навеску каждого образца массой 1 г и помещали в 100 см^3 модельного раствора. Процесс осадительной сорбции проводился на магнитной мешалке в течении 1, 5, 10, 30 и 60 минут, с дальнейшим отделением фильтрата на бумажном фильтре «синяя лента». Равновесные концентрации ионов железа определяли методом фотоколориметрии. Данная методика эксперимента описана в [5].

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены некоторые физико-химические параметры исследуемых сорбционно-каталитических загрузок: химический состав, удельная поверхность и удельный объем пор.

Таблица 1

Химический состав и структурные характеристики образцов сорбционно-каталитических загрузок

Образец	$S_{уд}, \text{ м}^2/\text{г}$	$P, \text{ см}^3/\text{г}$	Химический состав, %
Бирм (Birm)	3,1	0,001	MnO; Fe_2O_3 ; Na $[AlSiO_4] \times (2,3) H_2O$.
МФО-47	4,3	0,002	$SiO_2 - 68,7$; $Al_2O_3 - 21,5$; $Fe_2O_3 - 4,7$; MgO; MnO; Mn_2O_3 ; MnO_2 и остальное - 5,6.
МС	11,2	0,005	$SiO_2 - 13 - 47$; MgO - 43 - 47; $Fe_2O_3 - 4 - 5$; $Al_2O_3 - 2,5 - 3$.
ОДМ-2Ф	28,1	0,012	SiO_2 до 84%; Fe_2O_3 не более 3.2%; Al_2O_3 ; MgO; CaO - 8%.

Как видно из таблицы, образец ОДМ-2Ф имеет гораздо большую поверхность и удельный объем пор по сравнению с другими образцами сорбционно-каталитических загрузок. Самую малую удельную поверхность и удельный объем пор имеют образцы Бирм (Birm) и МФО-47. Следует предположить, что высокая удельная поверхность и удельный объем пор материала, должны сыграть положительную роль при извлечении ионов Fe^{2+} и образующихся в процессе окисления Fe^{3+} из модельного раствора, при малом времени контакта.

В работе определена эффективность представленных сорбционно-каталитических загрузок при извлечении ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} из модельного раствора. Эксперимент проводился на растворе, приготовленном из железа (II) сернокислого 7-водного (ХЧ), на дистиллированной воде, с концентрацией $C(Fe^{общ}) = 10,47 \text{ мг/дм}^3$ (где $C(Fe^{2+}) = 9,42 \text{ мг/дм}^3$). Наличие в растворе Fe^{3+} , говорит о частичном окислении Fe^{2+} до начала анализа исходного раствора. В графике 1 представлены сорбционные свойства рассматриваемых загрузок.

Как видно из рисунка 1, наилучшими сорбционными свойствами при извлечении ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} из модельного раствора, на протяжении всего времени контакта обладает материал Бирм (Birm). Так как у Бирм (Birm) самые малые удельная поверхность и удельный объем пор, а сорбция наилучшая, следует предположить, что эффективность обеспечивается за счёт хемосорбции, при наличии больших количеств активных компонентов. На 1 и 5 минутах хорошие сорбционные свойства показывает материал ОДМ-2Ф, но затем его эффективность снижается. Это можно объяснить тем, что на первых минутах положительную роль играет высокая удельная поверхность и удельный объем пор материала. Далее происходит постепенное вымывание активного компонента (Fe_2O_3) в фильтрат, где высокие структурные характеристики материала начинают оказывать скорее негативную роль. Сорбционно-каталитическая загрузка МС на 30 и 60 минутах практически не уступает по эффективности

материалу Бирм (Birm). Самые низкие свойства по извлечению ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} из модельного раствора видны у материала МФО-47.

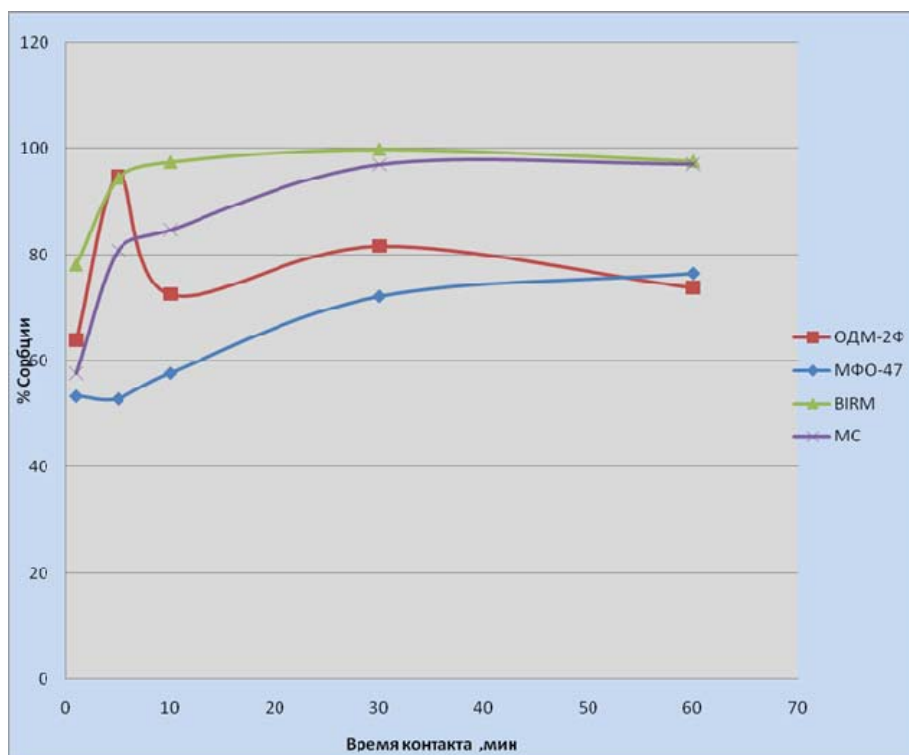


Рис. 1. Сравнение сорбционных характеристик различных загрузок при извлечении ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} из водного раствора

Кроме сорбционных характеристик у исследуемых образцов, необходимо определить окислительную способность материалов. Для этого была проведена серия экспериментов при вышеперечисленных условиях по определению Fe^{2+} в фильтрате (сколько железа окислилось и перешло в Fe^{3+}). Отчасти, на процесс окисления Fe^{2+} в исходном растворе, оказывало влияние перемешивание модельного раствора на магнитной мешалке, в результате чего происходило более интенсивное насыщение раствора кислородом воздуха. В табл. 2 показано, какое влияние оказывает перемешивание на процесс окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} , при разных временных показателях без участия сорбционно-каталитических загрузок.

Таблица 2

Определение степени окисления модельного раствора содержащего Fe^{2+} , в результате перемешивания на магнитной мешалке

Фактор влияющий на окисление	Время перемешивания, мин.	Концентрация $Fe^{общ}/Fe^{2+}$ в растворе до перемешивания, мг/дм ³	Концентрация Fe^{2+} в растворе после перемешивания, мг/дм ³	Степень окисления, %
Перемешивание	1	10,47/9,42	9,292	1,36
	5		9,017	4,28
	30		8,78	6,8
	60		8,469	10,1

Как видно из таблицы 2, в результате перемешивания на магнитной мешалке, происходит насыщения кислородом раствора содержащего Fe^{2+} , что приводит к его окислению в Fe^{3+} . Степень окисления Fe^{2+} в растворе за 60 минут достигла 10,1 %. При определении каталитических свойств исследуемых загрузок, необходимо учитывать тот вклад, который оказывает перемешивание на окисление Fe^{2+} .

Далее определяли степень окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} в растворе, в результате действия исследуемых сорбционно-каталитических загрузок при различном времени контакта. В табл. 3 показана каталитическая (окислительная) способность исследуемых материалов.

Таблица 3

Каталитическая (окислительная) способность образцов сорбционно-каталитических загрузок

Фактор влияющий на окисление	Время перемешивания, мин.	Концентрация $Fe^{общ}/Fe^{2+}$ в растворе до перемешивания, мг/дм ³	Концентрация Fe^{2+} в растворе после перемешивания, мг/дм ³	Степень окисления, %
ОДМ-2Ф	1	10,47/9,42	3,5	62,92
ОДМ-2Ф	5		2,64	72,04
ОДМ-2Ф	30		1,66	82,48
ОДМ-2Ф	60		0,92	90,33
Бирм (Birm)	1		1,3	86,29
Бирм (Birm)	5		0,02	99,86
Бирм (Birm)	30		0,05	99,42
Бирм (Birm)	60		0,06	99,46
МС	1		3,57	62,17
МС	5		2,94	68,87
МС	30		0,13	98,67
МС	60		0,09	99,09
МФО-47	1		3,46	63,31
МФО-47	5		3,46	63,31
МФО-47	30		1,66	82,48
МФО-47	60		1,043	88,93

Из таблицы видно, что наиболее хорошие каталитические (окислительные) свойства, на всех временных точках проявляет материал Бирм (Birm). Материал МС обладает немного меньшими окислительными свойствами чем Бирм (Birm), но на 30 и 60 минутах позволяет достиг значений ПДК. Намного худшими каталитическими свойствами обладают материалы ОДМ-2Ф и МФО-47 (не в одной временной точке не было достигнуто значений ПДК). Основываясь на результатах каталитических исследований, можно предположить, что структурные характеристики материалов не оказывают особого влияния на их окислительную способность.

Выводы

По итогам проведённых исследований получены сравнительные структурные характеристики сорбционно-каталитических загрузок: Бирм (Birm), МФО-47, МС, ОДМ-2Ф. В результате процессов осадительной сорбции (при перемешивании) определено, что загрузка Бирм (Birm) наиболее эффективно удаляет Fe^{2+} и Fe^{3+} из водного раствора при разном времени контакта. Было показано, какое влияние оказывает на окисление Fe^{2+} процесс перемешивания без загрузок. Определены сравнительные каталитические характеристики исследуемых загрузок, где наилучшие окислительные свойства показал материал Бирм (Birm).

Литература.

1. Клячков В. А., Апельцин И. Э. Очистка природных вод. М.: Стройиздат. 1971. 579 с.
2. Николадзе Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. – М.: Стройиздат, 1978.
3. Аюкаев Р. И Мельцер В. З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. 1985.
4. Печенюк С. И. / Современное состояние исследований сорбции неорганических соединений из водных растворов оксигидроксидами. //Успехи химии, 1992. Т.61. вып.4. С.711-733.
5. Жантуаров С. Р., Умирзаков А. Г., Мартемьянов Д. В. Определение сорбционных характеристик природных цеолитов различных месторождений, по извлечению ионов железа из водных сред // Перспективы развития фундаментальных наук: тезисы докладов X Международной конференции студентов и молодых учёных. - Томск, 23–26 апреля 2013. - С. 312-314.

**СЛАБОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ КАК «ИНГИБИТОР» ПРОЦЕССА РАЗЛОЖЕНИЯ,
ИНИЦИИРОВАННОГО В КРИСТАЛЛАХ АТМ УФ-ОБЛУЧЕНИЕМ**

В.Г. Маренец, асп., К.С. Туева, асп., А.П. Родзевич, ст. преподаватель, Е.Г. Газенаур, к.ф.-м.н., доц.
Кемеровский государственный университет, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842)580605*

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)62248

E-mail: nimez@tpu.ru

Проблема управления скоростью твердофазной химической реакции является одной из центральных проблем физики и химии твердого тела. Особое место в этой проблеме занимает изучение возможностей управления чувствительностью и стабильностью взрывчатых веществ (ВВ). Фундаментальный аспект таких исследований связан с тем, что в случае азидов тяжелых металлов (АТМ), речь фактически идет о поиске путей управления новым классом химических реакций - твердофазными цепными реакциями, роль активных частиц в которых выполняют электронные возбуждения кристаллической решетки. Прикладное значение определяется вопросами безопасности ВВ, охватывающими очень широкий круг проблем (хранение, транспортировка, уничтожение и т.д.).

Азид серебра (AgN_3) – традиционный модельный объект химии твердого тела, способный под действием внешних факторов различной природы претерпевать необратимые превращения с образованием инертных конечных продуктов (молекулярного азота и металла), легко анализируемых традиционными физико-химическими методами. Азиды просты по химическому составу и структуре. Для AgN_3 и азид свинца (PbN_6) достаточно подробно исследованы физико-химические свойства, определена зонная структура и параметры кристаллической решетки [1]. Близость к галогенидам металлов дает возможность рассматривать неорганические азиды в качестве модельных для создания теории быстрых реакций в твердых телах. Практическая значимость кристаллов азидов серебра и свинца определяется, прежде всего, возможностью использования их в качестве взрывчатых веществ с высокой инициирующей способностью [1], а также чувствительных датчиков измерения сверхнизких электрических и магнитных полей.

Облучение светом в области собственного поглощения, инициирует в кристаллах АТМ процессы разложения, качественная модель которых включает, наряду с генерацией в объеме образца неравновесных электронов и дырок, перенос их к поверхности кристалла в реакционные области, образованные краевыми дислокациями, а также реализацию в реакционных областях цепной химической реакции [2-4]. Процесс разложения азидов после УФ-облучения протекает длительное время после энергетического воздействия (минуты), кривая пост-процессов носит затухающий колебательный характер, связанный с изменением во времени соотношения концентрации свободных электронов и дырок в реакционных областях [3,5]. Наблюдаемые процессы лимитируются ионной стадией (дрейф межузельных катионов серебра или свинца), амплитуда колебаний определяется приповерхностным изгибом зон в реакционных областях, который по оценкам составляет 0,1-0,2 эВ.

О возможности влияния электрического поля на твердофазное разложение различных твердых веществ известно давно. Так, изучая влияние электрического поля на термическое разложение пресованных таблеток оксалата серебра, азидов бария и серебра, авторами [6,7] установлено, что реакция разложения начинается на поверхности исследуемых веществ, а внешнее электрическое поле приводит к загибу зон на поверхности, что влияет на энергию переноса, а также на скорость данного процесса. В работе [7] указывается на возможность использования электрического поля как метода для исследования механизма разложения и как способа стимулирования реакции разложения твердых веществ. Влияние электрического поля на дислокационную структуру кристаллов рассмотрено в работе [8]. В связи с проводимыми в последнее время исследованиями влияния бесконтактного электрического поля на процесс медленного твердофазного разложения, инициированного в кристаллах АТМ электрическим полем [9], а также имеющимися результатами по влиянию слабых электрических полей на процесс кристаллизации и взрывную чувствительность этих материалов [10-12], в настоящей работе сделана попытка обнаружить влияние бесконтактного электрического поля на процесс фотохимического разложения нитевидных кристаллов азидов серебра и свинца. При этом, в качестве основных задач исследования определены: исследование влияния бесконтактного постоянного и переменного электрических полей различной конфигурации на кинетику процессов, протекающих в нитевидных кристаллах азидов серебра и свинца после ультрафиолетового (УФ) облучения; изучение влияния низких и сверхнизких (до 10^{-4} В/м) электрических полей на процесс фотохимиче-

ского разложения АТМ; разработка методов управления реакционной способностью энергетических материалов.

Предложенные в работе методы управления скоростью твердофазной химической реакции с помощью слабых электрических полей, моделирующих реальные условия хранения и транспортировки взрывчатых веществ, могут быть в дальнейшем использованы и для других материалов, проявляющих высокую чувствительность к внешним воздействиям.

В качестве объектов исследования использовали нитевидные кристаллы азидов серебра и свинца со средними размерами $15 \times 0,1 \times 0,03 \text{ мм}^3$ и $5 \times 0,7 \times 0,03 \text{ мм}^3$ соответственно. Концентрация основных примесей (Fe, Si, Ca, Mg, Al, Na) в полученных нитевидных кристаллах азидов серебра и свинца определялась полярографическим и комплексометрическим анализом и не превышала $10^{16} \div 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Для проведения экспериментальных исследований готовили образцы азидов свинца и азидов серебра в планарном варианте геометрии: на предварительно обезжиренную этиловым спиртом слюдяную подложку кристаллы наклеивали за оба конца клеем БФ-6. В этом случае возможно фиксирование и объема выделившегося газообразного продукта, и наблюдение топографии распределения его по образцу. Для проведения экспериментальных исследований образцы, приготовленные вышеуказанным способом, облучали УФ-светом с длиной волны 360 нм с помощью ртутной лампы ДРШ-100 (для выделения указанной длины волны использовали интерференционные светофильтры). Расстояние между источником и образцами было постоянным и составляло 10^{-1} м , время облучения для азидов свинца и серебра – 50 с и 35 с соответственно. Интенсивность освещения, оцененная по результатам актинометрии с использованием химического ферриоксалатного актинометра, составляла $1,167 \times 10^{15}$ квант/(см*с) и $1,924 \times 10^{15}$ квант/(см*с) для азидов свинца и серебра соответственно. Количественный анализ продуктов фотохимического разложения проводили волюмометрическими методами [13], контролируя разложение в анионной подрешетке (по образуемому при разложении газообразному продукту). Промежуточный продукт разложения АТМ, инициированного УФ-облучением, выделяли путем выдержки облученных образцов не менее суток (время образования кластера промежуточного продукта [14]) при комнатной температуре. Поскольку известно, что реакционные области в кристаллах АТМ совпадают с местами выхода дислокаций на поверхность [2,4], возникает необходимость выявления дислокаций. Контрастные ямки травления [15] получались при травлении кристаллов AgN_3 в 1 N водном растворе тиосульфата натрия, PbN_6 – в 3 N водном растворе уксуснокислого аммония. Амплитудой и длительностью процессов, протекающих в АТМ после УФ-облучения, а также процессом накопления промежуточного продукта управляли с помощью: 1) бесконтактного поперечного электрического поля, напряженность которого изменяли в интервале $10^2 \div 10^3 \text{ В/м}$. Время хранения облученного образца в электрическом поле составляло 5 минут. 2) бесконтактного продольного электрического поля, напряженность которого изменяли в интервале $10^4 \div 3 \cdot 10^4 \text{ В/м}$. Электрическое поле прикладывали одновременно с началом облучения. Поскольку бесконтактное электрическое поле является причиной дрейфа не только дырок, но и ионных дефектов, дрейф которых может привести к поляризации кристалла и «гашению» реакции разложения, инициированной УФ-облучением, в работе также использовали переменное электрическое поле частотой 50 Гц. Влияние энергетически слабых электрических полей различной конфигурации на процессы разложения, инициированные в нитевидных кристаллах азидов серебра и свинца УФ-облучением изучали в ячейке, исключающей внешнее воздействие на процесс разложения. Для исключения влияния помех от электроприборов использовали элемент питания на 1,5 В. Напряженность постоянного бесконтактного электрического поля варьировали с помощью делителя (набор безындуктивных сопротивлений) в пределах от 10^4 до 10^3 В/м . При изучении влияния поля на процесс образования промежуточного продукта образцы хранили в бесконтактном электрическом поле различной конфигурации в течение 24 часов. Для изучения процессов, протекающих в АТМ после энергетического воздействия, использовали методику измерения подвижности носителей заряда [5].

При исследовании разложения кристаллов азидов серебра и свинца объем выделившегося газа для разных образцов может значительно отличаться. Количество выделившегося газа определялось по результатам измерений диаметров пузырьков молекулярного азота при числе параллельных опытов n равно 10. Для расчета погрешностей пользовались методами математической статистики. Выборка результатов определения количества выделившегося газа имеет приближенно нормальный закон распределения. Разброс экспериментальных данных количества выделившегося газа при 95% доверительной вероятности составляет не более 15%. Отношение объема выделяющегося газа к площади поверхности кристалла – относительный объем газообразного продукта разложения АТМ в

анионной подрешетке обозначим β . Обработка экспериментальных результатов проводилась на ПК с использованием программ «Microsoft Excel» и «Mathcad 5.0».

Последние исследования фотохимического разложения азидов тяжелых металлов показали, что в этих материалах длительное время (десятки минут) после окончания воздействия протекают процессы разложения (пост-процессы), сопровождаемые генерацией неравновесных электронов и дырок, соотношение концентрации которых периодически меняется в процессе хранения подвергнутых внешнему воздействию образцов [3]. Пост-процессы для азидов серебра и свинца качественно совпадают, однако, различаются периодом колебаний. Характерное значение времени периода пост-процессов (минуты) позволяет сделать предположение о связи их с ионными процессами, например, со стадией роста металлических кластеров, скорость образования которых лимитируется диффузионно-дрейфовой стадией. Исследование экспериментальных кривых с помощью метода нормированного размаха Херста позволяет утверждать, что кинетика процессов, протекающих в нитевидных кристаллах азидов серебра и свинца, не является случайным процессом, поскольку показатель Херста принимает значение $0,9 \div 1$, что соответствует процессам с памятью.

Известно, что нитевидные кристаллы азидов серебра и свинца разлагаются под действием внешних энергетических факторов с образованием металла и азота. Последние исследования процессов, протекающих в нитевидных кристаллах азидов серебра после энергетического воздействия, показали, что в объеме кристалла реакция разложения протекает до образования промежуточного продукта, идентифицированного как N_6 , свойства и методики выделения которого хорошо изучены [2,14]. При анализе промежуточного продукта разложения азидов свинца, инициированного УФ-облучением, отмечено существование полосы (550 ± 10 нм) с увеличением объема выделяющегося газообразного продукта в девять и более раз. По-видимому, в продуктах разложения азидов свинца, инициированного УФ-облучением, содержатся более длинные цепи (исследование этого эффекта требует разработки дополнительных методик). Механизм процессов, протекающих в нитевидных кристаллах азидов серебра и свинца после УФ-облучения, до конца не выяснен. На качественном уровне его можно рассматривать как совокупность следующих процессов [3]: генерацию при энергетическом воздействии в объеме кристалла электронов и дырок; перенос их к поверхности кристалла в реакционные области, образованные краевыми дислокациями в приповерхностной области кристалла; реализацию в реакционных областях цепной химической реакции с образованием в объеме кристалла промежуточных продуктов.

В течение длительного времени после энергетического воздействия в кристалле находятся заряженные частицы и, следовательно, на протекание пост-процессов фотохимического разложения азидов должно оказывать влияние электрическое поле. Как показали результаты экспериментального исследования, с увеличением напряженности, приложенного в момент облучения бесконтактного продольного электрического поля, амплитуда пост-процессов линейно уменьшается. Полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с представлениями о дислокационном механизме реакций, протекающих в исследуемых образцах после энергетического воздействия [3,4]. Дополнительное действие электрического поля, приложенного в момент облучения, приводит к тому, что часть дислокаций выходит из кристалла и, следовательно, уменьшается количество реакционных областей (количество РО определяли: методом ямок травления и по количеству мест газовыделения). Это ведет к изменению дислокационной структуры АТМ, а значит, и реакционной способности этих материалов. Поскольку дислокации в кристаллах АТМ отрицательно заряжены [9], возможно направленное смещение дислокаций в электрическом поле и появляется возможность, с помощью электрического поля, управлять скоростью их направленного движения. Зная подвижность дислокаций в азидов серебра и свинца, которая составляет 10^{-4} см² В⁻¹с⁻¹ и 10^{-5} см² В⁻¹с⁻¹ соответственно [9], можно рассчитать время, необходимое для смещения дислокаций на определенное расстояние под действием продольного электрического поля, приложенного в момент облучения. Если облучение проводить в продольном электрическом поле напряженностью $E > 3 \cdot 10^4$ В/м, то можно полностью вывести дислокации из кристалла, после чего кристалл является стабильным по отношению к УФ-облучению в течение, не менее, 24 часов. Таким образом, изменяя, с помощью бесконтактного продольного электрического поля, плотность дислокаций в нитевидных кристаллах азидов серебра и свинца мы можем не только управлять пост процессами, протекающими в них после облучения, но и задавать «рисунок» разложения.

Хранение облученных образцов в поперечном бесконтактном электрическом поле в течение пост-процессов показало значительное влияние поля на амплитуду протекающих процессов, что, по

нашему мнению, можно объяснить следующим образом. Как известно, реакция разложения азидов, инициированная УФ-облучением, протекает в реакционных областях, образованных краевыми дислокациями в приповерхностной области кристалла. В реакционной области существует приповерхностный изгиб энергетических зон и, с помощью поперечного электрического поля можно изменять величину изгиба зон (с учетом большей эффективности бесконтактного электрического поля), что ведет в зависимости от полярности электрического поля, к уменьшению либо увеличению скорости химической реакции (поскольку дырки рассматриваются в качестве реагентов). Кроме этого, столь эффективное влияние бесконтактного постоянного поперечного электрического поля на кинетику пост-процессов можно связать с переносом ионов серебра Ag^+ на поверхность кристалла в случае приложения заряженной отрицательно обкладки конденсатора к поверхности кристалла, на которую воздействовали УФ-светом. Экспериментальные результаты показали, что поперечное бесконтактное электрическое поле оказывает влияние и на процесс образования промежуточного продукта разложения азидов (см. рис. 1). С помощью поперечного бесконтактного поля удалось существенно уменьшить время формирования кластера промежуточного продукта.

Таким образом, предложенная выше методика управления амплитудой процессов, протекающих в азиде после УФ-облучения, с помощью бесконтактного электрического поля позволяет управлять не только скоростью твердофазной химической реакции, а значит и реакционной способностью энергетических материалов при данном виде воздействия, но и временем появления промежуточного продукта в виде пузырька газа, что существенно важно в методическом плане его обнаружения.

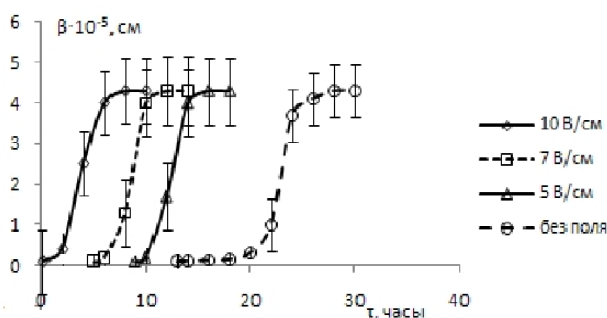


Рис. 1. Зависимость относительного объема промежуточного продукта от времени хранения образца при различных напряженностях поперечного бесконтактного электрического поля (для AgN_3)

Экспериментальные исследования показали значительное влияние энергетически слабого бесконтактного постоянного поперечного электрического поля на амплитуду и длительность процессов, протекающих в нитевидных кристаллах азидов серебра и свинца после УФ-облучения. Хранение облученных образцов в слабом поперечном бесконтактном электрическом поле независимо от полярности поля ведет к затуханию реакции разложения. Бесконтактное электрическое поле является причиной дрейфа не только дырок, но и ионных дефектов. Подвижность последних на несколько порядков меньше, чем дырок. Дрейф ионов приводит к поляризации кристалла и «гашению» реакции разложения, инициированного УФ-облучением. Используя переменное электрическое поле определенной частоты, можно избавиться от проблемы ионной поляризации кристалла, и провести более достоверные, особенно в случае использования малых электрических полей, исследования. Наиболее сильное влияние на физико-химические процессы, протекающие в исследуемых материалах после энергетического воздействия, оказывает переменное поле с частотой 50 Гц в диапазоне напряженностей $0,1 \div 0,2$ В/мм [2], поэтому в работе использовали именно эту частоту переменного бесконтактного электрического поля. Для наиболее наглядного представления влияния слабого бесконтактного электрического поля на процессы, протекающие после УФ-облучения в АТМ, построен график зависимости амплитуды первых максимумов на кривой кинетики пост-процессов от значения напряженности полей различной конфигурации (см. рис. 2. а,б). Наблюдается «гашение» реакции разложения, инициированного УФ-облучения, при любой конфигурации поля относительно кристалла. Таким образом, слабое бесконтактное электрическое поле можно рассматривать как ингибитор твердофазной химической реакции в азиде серебра и свинца, а также как способ управления процессом разложения азидов тяжелых металлов.

Поскольку химическая реакция в анионной подрешетке АТМ протекает до образования в объеме образца относительно устойчивого промежуточного продукта [14], изучение его образования в слабом бесконтактном электрическом поле позволит приблизиться к пониманию механизма влияния поля на процесс твердофазного разложения кристаллов. Экспериментально установлено что количество накопленного промежуточного продукта при хранении облученных УФ-светом образцов в электрическом поле напряженностью 10^{-1} – 10^{-6} В/см существенно уменьшается. Кроме того, наблюдается корреляция между количеством накопления промежуточного продукта и относительным объемом конечного газообразного продукта разложения азидов. Уменьшение количества образующегося промежуточного продукта в присутствии слабого бесконтактного поля позволяет косвенно судить о влиянии слабого электрического поля, прежде всего, на стадию образования промежуточного продукта твердофазного разложения азидов.

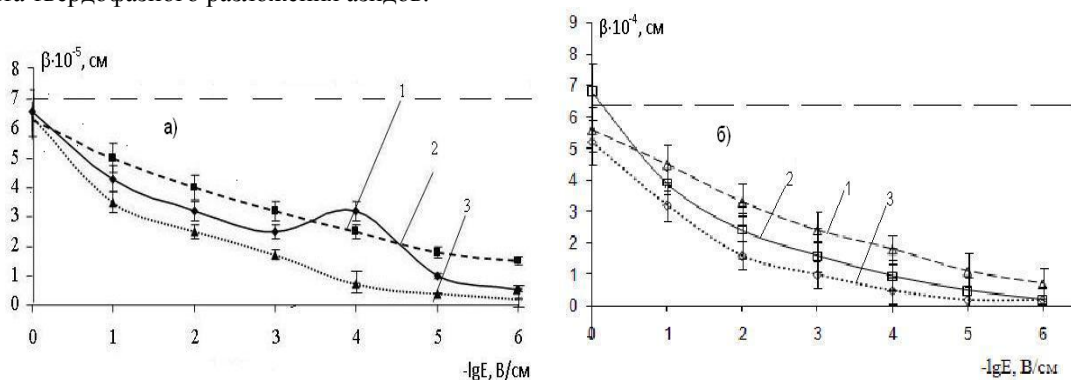


Рис. 2. Зависимость амплитуды первых максимумов на кривой кинетики пост-процессов фотохимического разложения нитевидных кристаллов а) азида серебра и б) азида свинца от напряженности: 1. бесконтактного продольного; 2. бесконтактного поперечного; 3. переменного (частота 50 Гц) электрического поля; пунктирная линия – величина первого максимума на кривой пост-процессов разложения в отсутствие поля

Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных экспериментальных результатов для целенаправленного изменения реакционной способности энергетических материалов. Предложенные в работе методы управления процессом фотохимического разложения АТМ с помощью бесконтактного электрического поля могут быть использованы при исследовании физико-химических процессов, инициированных внешним воздействием в других материалах.

Литература.

1. Багал, Л. И. Химия и технология инициирующих взрывчатых веществ. / Л. И. Багал. - М.: Машиностроение, 1975. - 456 с.
2. Захаров, В.Ю. Медленное разложение азидов серебра и свинца / В.Ю. Захаров, В.И. Крашенинин. - Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – С. 168.
3. Крашенинин, В.И. О модели фотохимического разложения нитевидных кристаллов азидов серебра и свинца / В.И. Крашенинин, Е.Г. Газенаур, Л.В. Кузьмина, Д.С. Макеев. // Вестник ТГУ, 2006.- №19. - С. 100-102.
4. Захаров, В.Ю. Физико-химические процессы в азидовых тяжелых металлов и дислокационная структура / В.Ю. Захаров, В.И. Крашенинин, Е.Г. Газенаур, А.И. Гасанов. // Журнал «Известия ВУЗов». Серия Физика. - 2002.- №6. - С. 17-21.
5. Патент РФ. № 93043944/25, 27.05.97. Способ визуального определения дрейфовой подвижности в азидовых тяжелых металлов / В.И. Крашенинин, Е.Г. Газенаур, А.Ю. Сталинин // № 93043944/25, 27.05.97, Бюл. №15. - С. 1-8.
6. Савельев, Г.Г. Влияние электрического и магнитного полей на термическое разложение твердых веществ // Труды 1 конференции молодых ученых-химиков г. Томска. - Изд. Томского ун-та. - 1970. - С. 71-73.
7. Кабанов, А.А. Влияние электрического поля на термическое разложение твердых веществ / А.А. Кабанов, Е.М. Зингель // Успехи химии, 1975. - Т.44. - №7. - С.1194-1216.

8. Патент РФ. № 93043944/25, 27.05.97. Способ визуального определения дрейфовой подвижности в азидах тяжелых металлов / В.И. Крашенинин, Е.Г. Газенаур, А.Ю. Сталинин // № 93043944/25, 27.05.97, Бюл. №15. С. 1-8.
9. Zakharov, V.Yu. The control of solid phase decomposition of silver azide by noncontact electric field / V. Yu. Zakharov, V. I. Krasheninina, L. V. Kouzmina, Yu. A. Zakharov // Solid State Ionics. - 1997. - V. 101-103. - P. 161-164.
10. Газенаур, Е.Г. Влияние бесконтактного электрического поля на взрывную чувствительность кристаллов азидов серебра / Е.Г. Газенаур, В.И. Крашенинин, Л.В. Кузьмина, А.П. Родзевич // Материаловедение. 2010. - № 4. - С. 14-19.
11. Крашенинин, В.И. Управление медленным и взрывным разложением азидов серебра бесконтактным электрическим полем / В.И. Крашенинин, Е.Г. Газенаур, Л.В. Кузьмина, А.П. Родзевич // Бутлеровские сообщения. - 2010. - Т. 23. - №14. - С. 66-72.
12. Крашенинин, В.И. Способы управления стабильностью азидов серебра / В.И. Крашенинин, Л.В. Кузьмина, Е.Г. Газенаур, О.В. Целиковская // Ползуновский вестник. 2009. - №3. - С. 48-51.
13. Heal, H. G. A microgaseometric procedure / H. G. Heal // Nature. - 1953. - V. 172. - P. 30.
14. Газенаур, Е.Г. О продуктах медленного разложения азидов свинца и серебра / Е.Г. Газенаур, В.И. Крашенинин, А.И. Гасанов, В.Ю. Захаров. - Деп. в ВИНТИ. №2662-В00. Кемерово, 2000. - 19 с.
15. Сангвал, К. Травление кристаллов: Теория, эксперимент, применение / К. Сангвал.- М.: Мир, 1990. - 492 с.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ МЕТАЛЛОВ

М.А. Кузнецов, ст. преподаватель, Д.С. Карцев, студент гр. 10А12

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

Модификатор (от позднелат. *modifico* – видоизменяю, меняю форму) – вещество, которое существенно изменяют структуру и свойства обработанного им металла или сплава. Эффект от такой обработки называется модифицированием [1]. Модифицирование – процесс активного регулирования первичной кристаллизации или изменения степени дисперсности кристаллизующихся фаз путём введения в расплав добавок отдельных элементов или их соединений [2]. Модифицированием можно добиться измельчения макро и микроструктуры; фазовых составляющих эвтектик; первичных кристаллов; формы, а также изменения размера и распределения неметаллических включений. Модифицирование металлов можно произвести несколькими способами: вводом в расплав добавок-модификаторов; применением различных физических воздействий (регулирование температуры расплава, предварительное охлаждение расплава при переливе, суспензионная разливка, литье в температурном интервале кристаллизации, вибрация, ультразвук, электромагнитное перемешивание); комбинированными способами, сочетающие вышеизложенные.

По природе воздействия модификаторы можно разделить на три вида: модификаторы 1-го рода, 2-го и 3-го рода. Модификаторы 1-го рода влияют на структуру за счет изменения энергетических характеристик (энергия активации и поверхностное натяжение) зарождения новой фазы. Модификаторы 2-го рода изменяют структуру, влияя на нее, как зародыши твердой фазы. Модификаторы 3-го рода – холодильники / инокуляторы – снижают температуру металла и повышают скорость кристаллизации, тормозя тем самым развитие ликвации элементов.

Наибольшее применение получили модификаторы 1-го рода. К ним относят примеси, неограниченно растворимые в жидкой фазе и мало растворимые в твердой фазе (0,001...0,1%). Эти примеси в свою очередь можно разделить на два типа: не изменяющие поверхностные свойства кристаллизующейся фазы и меняющие поверхностное натяжение на границе расплав-кристалл. Модификаторы первого типа могут тормозить рост твердой фазы только за счет концентрационного барьера на границе расплав-кристалл. При этом не происходит изменения энергетических характеристик процесса. Добавки второго типа, снижают поверхностное натяжение на границе расплав-кристалл и избирательно концентрируются на поверхности кристаллов (дендритов). Таким образом, ввод модификаторов 1-го рода сопровождается изменением поверхностного натяжения и энергии активации в противоположных направлениях, одновременно измельчается макроструктура и укрупняется микроструктура, т.е. оказывается комплексное воздействие на макро- и микроструктуру. Модификаторы 1-го рода представлены в таблице 1 [3].

Также на параметры кристаллизации и отражающую ее макроструктуру могут влиять модификаторы 2-го рода. Это влияние связано с контактным действием на процесс зарождения центров кристаллизации. При введении в расплав нерастворимой примеси со свойствами, близкими к свойствам кристаллизующегося вещества, происходит существенное снижение интервала метастабильности расплава и измельчение макрозерна. Такие примеси называют изоморфными с кристаллизующимся веществом и модификаторами 2-го рода. Обычное содержание модификаторов этого типа менее 0,1 %. Модификаторы 2-го рода представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1

Модификаторы 1-го рода для различных металлов и сплавов [3]

Металл (сплав)	Модификатор	Примечание
Сталь	Бор, РЗМ, церий кальций, магний, лантан, цирконий, литий, барий, уран	
Алюминий и сплавы алюминия с кремнием (силумины) (АЛ2, АЛ4, АЛ9, АК9 и др.)	Натрий (0,006-0,012%), калий, литий, висмут, сурьма 0,1-0,3%, стронций 0,01-0,05% (сурьма и стронций - модификаторы длительного действия), смесь солей (0,1% натрия и 2% смеси фтористого и хлористого натрия)	Переохлаждение 6-15°C. Измельчение эвтектики в системе Al-Si натрием, стронцием. Пластинчатая форма кристаллов кремния переходит в компактную размером 2-5 мкм
Медь Медные сплавы без железа Медные сплавы с железом	Олово, сурьма Ванадий, цирконий, молибден Титан, бор, вольфрам	
Чугун	Скандий, лантан	
Чугун высокопрочный с шаровидным графитом	Первичное модифицирование сотыми долями магния или церия плюс вторичное (графитизирующее) модифицирование ферросилицием ФС75 для предотвращения появления в чугуне структурно-свободных карбидов	Перевод пластинчатых выделений графита эвтектики железо-графит в шарообразные частицы
Ковкий чугун, подлежащий термообработке	Тысячные доли процента висмута, сурьмы или олова	
Магниевого сплавы, содержащие алюминий	Углеродсодержащие вещества (0,3-0,6%), хлорное железо, мел, мрамор, магнезит, гексахлорэтан, углекислый газ, ацетилен. Перегрев расплава-выдержка-охлаждение	
Магниевого сплавы, не содержащие алюминий	Цирконий 0,5-0,7% либо кальций 0,1-0,2%	

Таблица 2

Модификаторы 2-го рода [3]

Металл (сплав)	Модификатор	Примечание
Алюминиевые сплавы	Хлористый натрий, титан - до 0,1 5%, ванадий - до 0,15%, скандий, цирконий, бор	Образуются тугоплавкие соединения, изоморфные алюминию: $TiAl_3$, $ScAl_3$, VAI_6 , $ZrAl_3$, TiB_2
Заэвтектические силумины	Фосфор 0,05-0,1% или сера	Введение центров кристаллизации (фосфид алюминия AlP), измельчение первичного кремния
Стали	Алюминий, титан	Образуются тугоплавкие соединения Al_2O_3 , TiN
Серый чугун с пластинчатым графитом	Графитизирующий модификатор - кремний; стабилизирующие модификаторы - марганец, хром, олово, медь, сурьма и др.	Ввод силикокальция СК30 (0,3-0,6 %) или ферросилиция ФС75 (0,5-0,8 % от веса чугуна). Цель: измельчение графита и уменьшение склонности чугуна к отбелу

Ввод модификаторов 3-го рода (инокуляторов) в кристаллизующийся расплав обеспечивает повышение однородности и дисперсности литой структуры, оптимизацию формы и распределения неметаллических включений, уменьшение некоторых литейных дефектов. Попадая в металл, инокуляторы приводят к локальному охлаждению металлического расплава, при этом сначала на них происходит намораживание корочки твердой фазы, которая в дальнейшем вследствие нагрева от окружающего расплава расплавляется, позже расплавляется и сам инокулятор. Таким образом, инокуляторы в расплаве отбирают тепло на собственный нагрев и расплавление, в результате чего снижается температура расплава. Эффект охлаждения приводит к росту скорости кристаллизации, что отражается на повышении однородности механических свойств в крупных кованных изделиях ответственного назначения. С увеличением массы вводимых инокуляторов скорость кристаллизации возрастает [3]. Однако, несмотря на улучшение макроструктуры слитков и отливок, использование металлического порошка в качестве инокуляторов приводит к увеличению загрязненности стали неметаллическими включениями, в основном оксидами.

На практике элементы-модификаторы нашли свое применение в различных отраслях машиностроения.

Например, в работе [4] при производстве рельсов, сталь модифицируют сплавами Fe-Si-Ca-Ba, она имеет более высокую пластичность, чем пластичность стали, модифицированной сплавами Fe-Si-Ca. В силу размерного несоответствия атомов кальция и бария с атомами железа и различия в электронном строении при их введении в сталь происходят необратимые изменения наноструктуры (кластерной структуры) расплава и приближение его к более равновесному состоянию.

В работе [5] представлено управление структурным состоянием расплава чугуна, а, следовательно, и процессом формирования заданных свойств при кристаллизации, с помощью фуллереновых наномодификаторов. Одним из свойств фуллеренов, которое кардинально изменяет взгляды на структуру жидкого чугуна, является наличие физической поверхности раздела фуллерен-расплав со всеми термодинамическими параметрами, присущими фазовым поверхностям раздела, что открывает возможности объяснения целого ряда явлений при модифицировании и кристаллизации расплавов чугуна. Наномодификатор эффективно влияет на кристаллизацию не только графитной фазы, но и на фосфидную эвтектику, и на первичное зерно чугуна, и на фазу неметаллических включений, активизируя последнюю в качестве дополнительных гетерогенных центров графитизации.

В современном мире сварочное производство занимает одно из важнейших мест в машиностроении, т.к. большинство изделий производится при помощи различных способов сварки. Поэтому становится актуальным вопрос о применении модификаторов, в том числе модификаторов с наноразмерными частицами в сварочном производстве. Хотя данное направление является новым, уже есть некоторые научные разработки в данной области.

Так в работе [6] представлены исследования по использованию в качестве модификатора бария при выплавке трубных сталей и сварке нефтегазопроводов. Введение 1-3% Ba в электродное покрытие обеспечивает высокую трещиностойкость сварных соединений, как на воздухе, так и в коррозионно-агрессивных средах. Скорость коррозии сварных металлоконструкций нефтегазопроводов снижается в 4-7 раз. При этом более высокая эффективность бария в сравнении с кальцием, достигается только за счет снижения содержания серы и фосфора.

Введение в расплав стали нанодисперсных металлических и неметаллических порошков [7], свойства которых существенно отличаются от свойств макро- и микропорошков того же химического состава, способствует модифицированию металла и вызывает перераспределение вредных примесей между границами и объемами зерен. Размер зерен при этом уменьшается, что приводит к повышению пределов текучести и прочности, увеличению пластичности и деформируемости стали, а также к снижению коэффициента трения. В качестве нанодисперсного компонента использовали порошок карбида вольфрама. Материалом, транспортирующим нанодисперсный порошок, служил порошок никеля, в который при совместной обработке в планетарной мельнице внедряли карбид вольфрама. В результате получали никелевые гранулы, в которых содержалось около 30 масс. % нанокарбидов. Введение никеля и нанокарбидов вольфрама в электродные покрытия приводит к трансформации структуры металла в модифицированный субдисперсный твердый раствор на основе Fe с остаточным аустенитом, расположенным по границам зерен. Количество неметаллических включений, которые прежде имели произвольные очертания и были неравномерно распределены в металле, сократилось на 15-20%. Такая структура металла должна способствовать повышению его

пластических свойств в условиях отрицательных температур и циклического нагружения. Изменение структуры и химического состава металла привело к увеличению его твердости на 23-25%.

В работе [8] представлена технология сварки жаропрочных никелевых сплавов с применением частиц тугоплавких соединений. Для повышения свойств металла шва было применено модифицирование металлической ванны дисперсными инокуляторами, в частности карбонитридом титана. Введение компонентов осуществляли переплавом дополнительного трубчатого электрода на никелевой основе, внутренняя полость которого заполнялась порошкообразным модификатором. В макроструктуре металла шва имеют места зерна, границы которых в основном приблизительно одинаково удалены от центра. Размер зерна при этом уменьшается до 1 – 2 мкм. Микроструктура модифицированного шва показывает, что карбиды имеют компактную округлую форму, расположены в большей части на границах зерен, что по-видимому и упрочняет их, обуславливая повышенную жаропрочность. Структура околошовной зоны имеет меньший размер зерна, что несколько повышает свойства всего сварного соединения. Таким образом исследования показали, что повышение свойств металла шва при его модифицировании связано со снижением уровня ликваций, улучшением морфологии и топографии карбидных фаз.

На данный момент уже имеется технология применения наноматериалов при высокотемпературной обработке никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье и электрошлаковой сварке [9]. При этом возможно управление микро- и макроструктурой жаропрочных никельхромовых сплавов и их физико-механическими свойствами при помощи введения в расплав наночастиц карбонитрида титана в виде нанокристаллов, которые служат центрами кристаллизации.

Также разработана технология лазерной сварки с применением нанопорошка, позволяющая получать сварной шов с существенно улучшенными прочностными свойствами [10]. Основная идея новой представленной технологии — введение в сварной шов порошка тугоплавкого соединения (например, карбида или нитрида титана) с наноразмерными частицами. Это даёт возможность управлять процессом кристаллизации металла при сварке. Введение нанопорошка в сварной шов изменяет процесс зародышеобразования, которое происходит на наноразмерных частицах на границе контакта трёх фаз (наночастица – зародыш – расплав) и резко изменяет строение и величину (морфологию и дисперсность) растущего зерна. Структура шва вместо игольчато-дендритной становится квазиравноосной и мелкодисперсной. Сварной шов с дендритно-игольчатой структурой не столь прочен, как с мелкодисперсной. Уменьшается размер неметаллических включений, соответственно повышаются механические свойства (прочность и пластичность) металла шва, возрастает в несколько раз относительное удлинение, увеличиваются предел прочности и предел текучести.

Изучен процесс лазерной сварки с применением нанопорошковых инокуляторов [11, 12]. В качестве нанопорошковых инокуляторов использовались тугоплавкие соединения TiN, TiC, Y₂O₃, а также их смесь, плакированные хромом. Подготовленная композиция наносилась в виде суспензии на поверхность свариваемых пластин. Применение наномодификаторов позволяет повысить скорость сварки при той же мощности луча за счет увеличения коэффициента поглощения интенсивности лазерного излучения. При этом уменьшается ширина сварного шва, зона термического влияния улучшается качество соединения, измельчается структура сварного шва, существенно возрастают его механические характеристики. В работе [13] рассматривалась лазерная сварка стали с титановым сплавом. Для проведения экспериментов использовались коррозионно-стойкая сталь и титановый сплав с промежуточными вставками. Наиболее эффективной оказалась вставка на основе меди М1. При этом сварное соединение с медной вставкой обладает достаточно высокой прочностью.

Выводы

Для изготовления строительной и дорожной техники, оборудования для горно-добывающей промышленности, подъемно-транспортного оборудования и других металлоконструкций в основном используют конструкционные, легированные стали. Основным способом получения неразъемных соединений данных сталей является сварка плавящимся электродом, к недостаткам которой относятся механическая, структурная и химическая неоднородность сварного соединения. Актуальным становится вопрос применения модификаторов, а в частности наноразмерных элементов, при дуговой сварке плавящимся электродом. Это позволит управлять процессом кристаллизации металла сварочной ванны; прогнозировать структуру и свойства металла шва, а также получать равнопрочные сварные соединения.

Литература.

1. Большая советская энциклопедия. Второе издание. Т 28. – М., 1969 – 1978. – 660 с.
2. Рябчиков И.В, Панов А.Г., Корниенко А.Э. О качественных характеристиках модификаторов // М. Сталь. – 2007. – №6. – с. 18 – 23.
3. Задиранов А.Н., Кац А.М. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. Из-во. РУДН, 2008. – 227 с.
4. Гольштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М: Металлургия, 1986. – 271 с.
5. Давыдов С. В. Наномодификатор как инструмент генной инженерии структурного состояния расплава чугуна – Сб. докладов Литейного консилиума №1 «Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей» - Челябинск: Челябинский Дом печати, 2006. – 40 с.
6. Дерябин А.А, Цепелев В.С., Конашков В.В., Берестов Е.Ю., Могильный В.В. Кинетическая вязкость рельсовой стали, модифицированной сплавами Fe-Si-Ca и Fe-Si-Ca-Ba. Известие высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2008. – №4. – с. 3 – 6.
7. Соколов Г.Н., Лысак И.В., Трошков А.С., Зорин И.В., Горемыкина С.С., Самохин А.В., Алексеев А.Н., Цветков Ю.В. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама. // Физика и химия обработки материалов. – 2009. – №6. – с. 41 – 47.
8. Еремин Е.Н. Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов. // Омский научный вестник. – 2009. – №3. – с. 63 – 67.
9. Жеребцов С. А. Применение наноматериалов и высокотемпературной обработки никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новокузнецк, 2006. – 22 с.
10. Наночастицы в каждый самолет // Наука и жизнь. – 2008. – №4. – с. 8.
11. Афонин Ю. В., Черепанов А. Я., Оришич А. М., Батаев А. А., Буров В. Г., Маликов А. Г. Лазерная сварка титана с использованием нанопорошковых инокуляторов. // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: сборник трудов 5 Международной научной - практической конференции. – Санкт – Петербург, 2008 – Т. 12 – с. 322 – 324.
12. Черепанов А. Н., Афонин Ю. В., Маликов А. Г., Оришич А. М. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной сварке и обработке металлов и сплавов // Тяжелое машиностроение. – 2008. – №4. – с. 25 – 26.
13. Черепанов А. Н., Афонин Ю. В., Оришич А. М. Лазерная сварка стали с титановым сплавом с применением промежуточных вставок и нанопорошковых инокуляторов // Тяжелое машиностроение. – 2009. – №8. – с. 24 – 26.

ПОКРЫТИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Н.Ю. Крампит, к.т.н., доцент, С.К. Кожубеков, студент гр. 10А12

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

Центральной задачей в современном развитии техники является повышение долговечности и надёжности узлов и деталей металлургической, химической, нефтеперерабатывающих, авиационно-космической и других отраслей техники за счет уменьшения интенсивности изнашивания и коррозии различных деталей путем нанесения покрытий газотермическим напылением. Все это тесно связано с совершенствованием материало-технологических процессов нанесения функциональных покрытий со специальными свойствами.

К числу наиболее перспективных методов нанесения газотермических покрытий относятся плазменный и высокоскоростной газоплазменный процессы [1].

В основной комплект плазменного оборудования входят: система управления, блок газоподготовки, блок коммутации, источник питания, порошковый дозатор, охладитель, плазматрон [2,3].

Применяемые материалы – порошковые материалы из химических чистых и цветных металлов и сплавов, карбидов. Применяемые газы – азот, аргон, водород или гелий, сжатый воздух.



Рис. 1. Установка для сверхзвукового газопламенного напыления



Рис. 2. Установка для плазменного напыления ТСЗП-MF-P-1000 (плазматрон F4 с манипулятором)

В зависимости от функционального назначения плазменные покрытия различают: технологические покрытия, предназначенные для упрочнения, горячей и холодной штамповки, прессования, волочения. Специальные покрытия, объединяющие самую большую группу покрытий, которые обладают разнообразными свойствами: теплозащитными, износостойкостью, коррозионной стойкостью и другими [4].

Усовершенствованное высокоскоростное газопламенное напыление осуществляется подбором соответствующего горючего газа, регулируемого его расхода, а также соотношения кислород – горючий газ. При этом максимальная температура пламени и эффективность нагрева зависят от применяемого горючего газа. Структура и механические свойства покрытия зависят от температуры и скорости напыляемых частиц в момент их контакта с подложкой [5].

Для выбора оптимальной дистанции напыления важно не только обеспечить высокую скорость частиц при контакте их с подложкой, но также время их полета. Если дистанция напыления значительно превышает оптимальную, то при контакте частицы имеют пониженную скорость и низкую температуру, что приводит к снижению адгезии покрытия с подложкой. Если дистанция напыления меньше оптимальной и частицы недостаточно разогреты, то происходит перегрев напыляемых деталей и ранее нанесенных слоев покрытия.

Метод сверхзвукового напыления основан на непрерывном сжигании горючего газа в кислороде. При этом на выходе из горелки образуется сверхзвуковая струя. Порошкообразный направляемый материал вводится в газовый поток, нагревается и с высокой скоростью направляется на обрабатываемую деталь.

В состав технологического оборудования для сверхзвукового газопламенного напыления входят: сверхзвуковая горелка, контейнер для направляемого порошка, пульт управления, баллон с горючим газом, баллон с кислородом.

Покрытия, полученные с помощью сверхзвукового газопламенного напыления, имеют высокую адгезию, низкую пористость и существенно увеличивают срок службы оборудования, работающего в контакте с агрессивными средами или подвергающегося интенсивному износу. Они обладают такими же или даже более высокими характеристиками, как и покрытия, напыленные плазменными установками, но обходятся в 1,5- 2 раза дешевле.

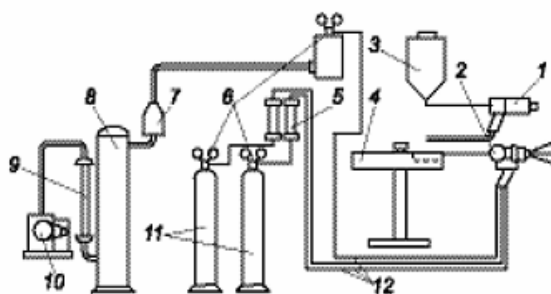


Рис. 3. Схема установки для сверхзвукового газопламенного напыления

В настоящее время ООО «ТСЗП» располагает современным роботизированным и компьютеризированным оборудованием для газотермического напыления. Применение роботизированного оборудования при напылении, в том числе установки ТСЗП- HVOF- K2, ТСЗП-MF-P-1000, обеспечивает высокое качество наносимых покрытий и 100%-ную воспроизводимость результатов. Использование промышленных компьютеров в системах управления технологическим оборудованием, позволяет проводить диагностику и текущий контроль, как технологических процессов, так и состояние самого оборудования в реальном режиме времени с распечаткой до 100 параметров [6].

Литература.

1. Калита В.И, Балдаев Л.Х, Лупанов В. А, Шатов А. П. Современное оборудование и покрытия для газотермического напыления // Сварщик –профессионал, 2005, № 3, с. 14-15.
2. Л. Х. Балдаев. Реновация и упрочнения деталей машин методами газотермического напыления / М.: КХТ, 2004, 134 с.
3. Ю. С. Борисов, А. Л. Борисов Плазменные порошковые покрытия. / К.: Техніка, 1986, 223 с.
4. Л. Н. Лесневский, В. Н. Тюрин, Ю. Д. Ягодкин. Технология плазменных покрытий в производстве энергетических и двигательных установок / Учебное пособие. М.: МАИ. 1994, 80 с.
5. Л. Х. Балдаев, Н. Г. Шестеркин, В. А. Лупанов, А. П. Шатов. Особенности процессов высокоскоростного газопламенного напыления // Сварочное производство, 2003, № 5, с. 43-46
6. В. Н. Хромов, В. Г. Верцов, А. Я. Коровин и др. От дозвукового к сверхзвуковому газопламенному напылению покрытий при восстановлении и упрочнении деталей машин // Сварочное производство, 2001, №2, с. 39-48.

НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

М.А. Кузнецов, ст. преподаватель, Д.С. Карцев, студент гр. 10А12

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

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

В начале XXI века возникла необходимость коренного повышения научно-технического уровня экономики во всем мире. Для решения этой задачи требуется проведение обширных научных исследований, а также массовое внедрение новых прогрессивных технологий в промышленное производство. Согласно прогнозам многих авторитетных организаций, приоритетными являются работы в области создания наноматериалов и нанотехнологий. Именно они в числе прочих будут способствовать существенному повышению эффективности производства в таких сферах, как машиностроение, энергетика, строительство, сельское хозяйство, медицина и др. [1].

Нанотехнология - высокотехнологичная отрасль, направленная на изучение и работу с атомами и молекулами.[2] Одно из важнейших направлений нанотехнологии - это получение наночастиц, (нанопорошков) и их применение в практике. К наночастицам, научное сообщество относит такие объекты, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм (10^{-7} м), и которые обладают качественно новыми функциональными свойствами. По мнению экспертов, применение нанопорошков позволит существенно улучшить параметры существующих технологических процессов и создать новые технологии. Используя нанопорошки, например как добавки, можно значительно улучшить качество различных материалов и продуктов (лекарств, смазочных материалов, топлив, полимеров, фильтров, геттеров, присадок к смазочным материалам, красящих и магнитных пигментов, компонентов низкотемпературных высокопрочных припоев и др.). Нанопорошки – только один из многих имеющихся на сегодняшний день наноматериалов. Нанопорошки можно производить из сотен различных материалов. Все наноматериалы, которые производятся в настоящее время, подразделяются на четыре группы: оксиды металлов, сложные оксиды (состоящих из двух и более металлов), порошки чистых металлов и смеси. В наноструктурном состоянии материала в несколько раз по сравнению с обычными крупнокристаллическими материалами повышается прочность. В отличие от обычных методов обработки металлов, когда повышение прочности неминуемо приводит к существенному снижению пластичности, при наноструктурировании материал может сохранять пластичность [3].

В современном мире нанотехнологии и нанопорошки уже нашли свое применение в таких отраслях как: электроника и информационные технологии, химическая промышленность, медицина и фармакология, косметология, точная механика и оптика, материаловедение, а также в сварочном

производстве и др. Но стоит отметить, что направления, касающиеся сварочного производства, пока являются новыми. Однако уже есть некоторые научные разработки в области внедрения нанотехнологий в сварочное производство.

Так, в работе [4] представлено применение наноматериалов и высокотемпературной обработки никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье и электрошлаковой сварке. При этом возможно управление микро- и макроструктурой жаропрочных никельхромовых сплавов и их физико-механическими свойствами при помощи введения в расплав наночастиц карбонитрида титана в виде нанокристаллов, которые служат центрами кристаллизации.

Нанопорошки применяются также при лазерной сварке. На данный момент это один из способов сварки, где нанопорошки находят все большее применение. В работе [5] представлена разработанная технология лазерной сварки с применением нанопорошка, позволяющая получать сварной шов с существенно улучшенными прочностными свойствами. Основная идея новой представленной технологии — введение в сварной шов порошка тугоплавкого соединения (например, карбида или нитрида титана) с наноразмерными частицами. Это даёт возможность управлять процессом кристаллизации металла при сварке. Введение нанопорошка в сварной шов изменяет процесс зародышеобразования, которое происходит на наноразмерных частицах на границе контакта трёх фаз (наночастица – зародыш – расплав) и резко изменяет строение и величину (морфологию и дисперсность) растущего зерна. Структура шва вместо игольчато-дендритной становится квазиравноосной и мелкодисперсной. Сварной шов с дендритно-игольчатой структурой не столь прочен, как с мелкодисперсной. Уменьшается размер неметаллических включений, соответственно повышаются механические свойства (прочность и пластичность) металла шва, возрастает в несколько раз относительное удлинение, увеличиваются предел прочности и предел текучести.

В работах [6, 7] рассмотрены исследования процесса лазерной сварки с применением нанопорошковых инокуляторов. В качестве нанопорошковых инокуляторов использовались тугоплавкие соединения TiN, TiC, Y₂O₃, а также их смесь, плакированные хромом. Подготовленная композиция наносилась в виде суспензии на поверхность свариваемых пластин. Применение наномодификаторов позволяет повысить скорость сварки при той же мощности луча за счет увеличения коэффициента поглощения интенсивности лазерного излучения. При этом уменьшается ширина сварного шва, зона термического влияния улучшается качество соединения, измельчается структура сварного шва, существенно возрастают его механические характеристики. В работе [8] рассматривалась лазерная сварка стали с титановым сплавом. Для проведения экспериментов использовались коррозионно-стойкая сталь и титановый сплав с промежуточными вставками. Наиболее эффективной оказалась вставка на основе меди М1. При этом сварное соединение с медной вставкой обладает достаточно высокой прочностью.

Помимо сварки плавлением наноструктурируемые материалы нашли свое применение и в сварке давлением. Например, в работе [9] описывается применение наноструктурных материалов при диффузионной сварке жаропрочных никелевых сплавов. Для сохранения в сварном соединении структурной и кристаллографической ориентировки исходного материала рассмотрена возможность использования в качестве соединительного слоя при диффузионной сварке отмеченных сплавов пленок из никель-алюминиевого сплава с различным структурным состоянием: наноструктурные кристаллические монолиты интерметаллидов Ni₃Al и NiAl₃, полученные методом сверхбыстрой кристаллизации и осаждением из паровой фазы, а также многослойные пленки, состоящие из отдельных слоев никеля и алюминия. Установлено, что использование в качестве промежуточного слоя пленок в наноструктурном состоянии позволяет активизировать процесс диффузионной сварки никелевых сплавов.

Следует отметить, что при обычных способах сварки осуществляется нагрев металлических материалов до температуры, которая обеспечивает их расплавление или активацию диффузионных процессов в зоне соединения. Нагрев до высокой температуры приводит к необратимым структурным превращениям и деградации первоначальных физико-механических свойств материала [1].

Идея решения такой задачи в целом базируется на том, что температуру процесса соединения в твердой фазе можно снизить, если в качестве сварочных присадок применить быстрокристаллизующиеся аморфизированные гомогенные ленты или композиционные тонкопленочные материалы с нанослойной структурой. В таких материалах вследствие неравновесного состояния тонкой структуры имеет место существенное снижение температуры, при которой интенсивно протекают диффузионные процессы. В качестве сварочных присадок разработаны и используются многослойные наноструктур-

ные пленки, которые состоят из многослойных композиций различных металлических элементов (Ti/Al, Ni/Al, Cu/Al). Эти пленки обладают высокими значениями сопротивления пластической деформации и упругого восстановления, также целым рядом важных эксплуатационных характеристик: высокой твердостью, жаростойкостью, износо- и коррозионной стойкостью, устойчивостью к ударным воздействиям, высокими значениями электросопротивления. Например, замена прослойки обычного алюминия (базовый вариант) на фольгу из нанослойных конденсатов позволяет снизить температуру сварки композита на 80... 100 °С, обеспечить качественное формирование неразъемного соединения при меньшем сварочном давлении [1].

Особенности контактной сварки алюминидов титана с использованием нанослойных алюминиево-титановых, алюминиево-никелевых и алюминиево-медных фольг рассмотрены в работах [10, 11]. Исследования проводились при помощи диффузионной, электронно-лучевой, прессовой и контактной сварки без использования наноструктурных фольг, соединения, полученные этими способами сварки, имели слабые прочностные характеристики и наличие трещин в шве и зоне термического влияния. В отличие от этих видов контактная сварка с применением наноструктурных фольг является перспективным способом соединения тугоплавких материалов. В экспериментах использовали сплав Ti-47A-1,5Cr-2Nb. При контактной сварке с использованием наноструктурных фольг наблюдается интенсивное выделение тепла в стыке, что уменьшает время сварки, уменьшение грата и зоны термического влияния, снижение температуры сварки, соединение имеет стабильную макроструктуру. Лучшие результаты достигнуты при использовании фольги толщиной 60 – 100 мкм, при использовании фольги более 150 мкм необходимо применить более жесткие режимы сварки [10, 11].

В работе [12] представлено получение неразъемных соединений сплавов на основе TiAl с использованием нанослойной прослойки способом диффузионной сварки в вакууме. Применение традиционных способов сварки, основанных на плавлении материала в зоне сварки, показало, что качество соединения зависит от режима сварки. При отклонении режима от оптимального в зоне термического влияния возникают напряжения, что приводит к образованию трещин. Перспективным представляется использование диффузионной сварки в вакууме. Объектом исследования был выбран сплав Ti-48Al с добавками ниобия и марганца. Соединение, полученное диффузионной сваркой без нанопрослойки, имеет хрупкую прослойку, что снижает прочность, а соединение с нанопрослойкой (Ti/Al толщиной 20 мкм) имеет структуру подобную основному металлу. Отсутствие пор и трещин в зоне шва, так и в зоне термического влияния свидетельствует о высоком качестве сварного соединения.

Кроме сварки нанопорошки используются еще в одном направлении сварочного производства – наплавка. Так, в работе [13] рассмотрено повышение твердости наплавленного слоя при индукционной наплавке. В исходную шихту добавляли нанодисперсные порошки и изучали их влияние на твердость наплавленного слоя. В качестве таких порошков применяли карбид титана и феррохром. Опыты с применением нанодисперсных порошков карбида титана, а также опыты с наплавкой на сталь покрытий из шихты с добавлением феррохрома дали значение твердости (61 – 62) и (65 – 66) HRC соответственно, т. е. достаточно высокую твердость покрытий. Например, при поверхностной обработке износостойкого чугуна марки ИЧХ28Н2 с помощью CO₂ – лазера с модифицированной добавкой (TiN + Cr), при скорости перемещения луча 2 м/мин происходило проплавление поверхности образца на 3,2 мм с образованием упрочненного поверхностного слоя микротвердостью 9,5 ГПа. Это более чем в 1,8 раз выше микротвердости необработанного участка того же образца.

Также нанопорошковые технологии применяются в борьбе с концентраторами напряжений (дефектами). Например, в работе [14] рассмотрено повышение долговечности образцов из алюминиевого сплава с концентраторами напряжений. Исследовали влияние нанопокртытия, состоящего из эпоксидной смолы и углеродных наночастиц, на концентраторы напряжений. Нанопокртытие наносилось в зону концентрации напряжений, влияние наноматериала заключалось в уменьшении распространения микротрещин в зону меньшей концентрации напряжений. Были проведены испытания при циклическом нагружении образцов с цилиндрическим и зенкованным отверстием с нанопокртытием и без него. Видно, что долговечность образцов с увеличением процентного содержания наночастиц в покрытии увеличивается, причем для образцов с цилиндрическим отверстием в большей степени (на 40%), чем для образцов с зенкованным отверстием (на 20%) при содержании наночастиц соответственно 0,5% и 1,5%. Исследование поверхности разрушения испытанного на долговечность образца с нанокompозитным покрытием показало, что последнее плотно примыкает к поверхности отверстия, отсутствует отслоение его от поверхности и имеет место залечивание микротрещины за счет проникновения нанокompозита в ее полость.

Выводы

Благодаря использованию новых технологий электрошлаковой, лазерной, диффузионной сварки появилась возможность успешно соединять материалы с особыми свойствами. А т. к. дуговая сварка плавящимся электродом занимает одно из ведущих мест во всех отраслях промышленности и в ней уже ограниченно нашли свое применение наноматериалы, но изучены они еще недостаточно.

Поэтому целью дальнейших исследований является разработка наноструктурированных материалов для дуговой сварки плавящимся электродом.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

исследование влияния материалов, содержащих наноструктурированные компоненты на стабильность процесса сварки плавящимся электродом;

исследование влияния наноструктурированных материалов на механические свойства и химический состав сварных соединений;

определение технико-экономических показателей дуговой сварки плавящимся электродом с применением материалов, содержащих наноструктурированные компоненты.

Литература.

1. Патон Б. Е., Ищенко А. Я., Устинов А. И. Применение нанотехнологии неразъемного соединения перспективных легких металлических материалов для аэрокосмической техники // Автоматическая сварка. – 2008. - №12. – с. 5 - 12.
2. Гусев А. И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. – Екатеринбург. Уро. РАН, 1998. – 199 с.
3. Новые материалы / под редакцией Ю. С. Карабасова Ю. С. – М.: МИСИС, 2002 – 736 с.
4. Жеребцов С. А. Применение наноматериалов и высокотемпературной обработки никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новокузнецк, 2006. – 22 с.
5. Наночастицы в каждый самолет // Наука и жизнь. – 2008. - №4. – с. 8.
6. Афонин Ю. В., Черепанов А. Я., Оришич А. М., Батаев А. А., Буров В. Г., Маликов А. Г. Лазерная сварка титана с использованием нанопорошковых инокуляторов. // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: сборник трудов 5 Международной научной - практической конференции. – Санкт – Петербург, 2008 – Т. 12 – с. 322-324.
7. Черепанов А. Н., Афонин Ю. В., Маликов А. Г., Оришич А. М. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной сварке и обработке металлов и сплавов // Тяжелое машиностроение. – 2008. – №4. – с. 25 – 26.
8. Черепанов А. Н., Афонин Ю. В., Оришич А. М. Лазерная сварка стали с титановым сплавом с применением промежуточных вставок и нанопорошковых инокуляторов // Тяжелое машиностроение. – 2009. – №8. – с. 24 – 26.
9. Ющенко К. А. Задерий Б. А., Звягинцева А. В., Кушнарева Т. Н., Несмих В. С., Полищук Е. П., Савченко В. С. Применение наноструктурных материалов при диффузионной сварке жаропрочных никелевых сплавов // Автоматическая сварка. – 2006. – № 11. – с. 3 - 10.
10. Кучук-Яценко В. С., Швец В. И., Сахацкий А. Г., наконецный А. А. Особенности контактной сварки алюминидов титана с использованием нанослойных алюминиево-титановых фольг // Автоматическая сварка. – 2009. – №3. – с. 19 – 22.
11. Кучук-Яценко В. С., Швец В. И., Сахацкий А. Г., наконецный А. А. Особенности контактной сварки алюминиевых сплавов с использованием наноструктурных алюминиево-никелевых и алюминиево-медных фольг // Сварочное производство. – 2007. – №9. с. 12 – 14.
12. Устинов А. И., Фальченко Ю. В., Ищенко А. Я., Харченко Г. К., Мельниченко Т. В., Муравейник А. Н. Получение неразъемных соединений сплавов на основе γ -TiAl с использованием нанослойной прослойки Ti/Al способом диффузионной сварки в вакууме // Автоматическая сварка. – 2009. – №1. – с. 17 – 21.
13. Черепанов А. Н., Марусин В. В., Афонин Ю. В., Репин А. А. Применение модифицирующих нанопорошковых материалов при высокоэнергетической обработке стали и сплавов // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: сборник трудов 5 Международной научной - практической конференции. – Санкт – Петербург, 2008 – Т. 12 – с. 321-322.
14. Доценко А. М., Теперин Л. Л. Исследование применимости углеродного наноматериала для повышения долговечности образцов из алюминиевого сплава с концентраторами напряжений // Нанотехнологии – производству 2007: труды Международной научно-практической конференции. – Фрязино, 2007 – с. 265-268.

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЫШЬЯКА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Е.В. Плотников, к.-х. н., инж., И.В. Мартемьянова, Д.В. Мартемьянов, инж.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822) 41-69-76

E-mail: plotnikov.e@mail.ru

Сегодня, проблема водоочистки во всём мире стоит особенно остро [1-2]. Среди различных веществ, загрязняющих водные среды, мышьяк занимает особое место [3-4]. Одним из наиболее эффективных способов для удаления мышьяка из воды, является применение различных сорбентов [5-6]. Для более эффективной очистки воды от мышьяка, создают всё новые виды сорбционных материалов, но при усложнении процесса подготовки сорбента, также возрастает его себестоимость. Поэтому может найти самое широкое применение использование более дешёвых природных минералов для очистки водных сред от мышьяка. В результате этого, является актуальной задачей получение сравнительных характеристик существующих синтетических сорбентов и природных минералов для извлечения ионов мышьяка из водных сред.

В данной работе осуществляется сравнение полученных структурных и сорбционных характеристик образцов синтетических материалов и образцов природных минералов.

Материалы и методы исследования

В данной работе были исследованы два образца сорбционного материала: 1). Сорбент 1, по патенту (RU 2328341 С1, МПК В01J20/06) для очистки воды от ионов тяжёлых металлов, который состоит из измельчённого цеолита, оксигидроксида железа и нанофазного бемита; 2). Сорбент 2, разработанный сорбционный материал на основе керамзита, модифицированный оксигидроксидом железа. Также с представленными сорбентами проводили сравнительные испытания образцов природных минералов: гематит, ильменит, и магнетит. В экспериментах применялись образцы синтетических и минеральных сорбентов с фракциями менее 0,63 – 1,4 мм.

Для оценки структурных характеристик исследуемых сорбционных материалов использовали метод тепловой десорбции азота. По данным измерения оценивали площадь удельной поверхности ($S_{уд}$) и значения удельного объема пор (P) образцов с использованием анализатора «СОРБОМЕТР М».

С использованием данных образцов были проведены процессы осадительной сорбции из растворов содержащих ионы мышьяка As^{3+} . Модельный раствор готовился из государственного стандартного образца (ГСО) мышьяка As (III), на дистиллированной воде, с концентрацией $C = 5$ мг/дм³. Навеску каждого минерала брали 0,2 г и помещали в 20 см³ модельного раствора. Процесс осадительной сорбции проводился на магнитной мешалке в течении 15, 60 и 150 минут, с дальнейшим отделением фильтра на бумажном фильтре «синяя лента». Исходные и конечные концентрации ионов As^{3+} определяли методом инверсионной вольтамперометрии. Данная методика эксперимента описана в [7].

Результаты и их обсуждение

Производили сравнительный анализ исследуемых образцов сорбционных материалов, при определении их структурных характеристик. В табл. 1 представлены некоторые физико-химические параметры представленных сорбентов: химический состав, удельная поверхность и удельный объём пор.

Таблица 1

Химический состав и структурные характеристики образцов сорбционных материалов			
Образец	$S_{уд}$, м ² /г	P , см ³ /г	Химический состав, %
Сорбент 1	77,2	0,13	FeOOH, AlOOH, (Na, K ₂)O•Al ₂ O ₃ •10SiO ₂ •8H ₂ O
Сорбент 2	136,8	0,059	FeOOH, SiO ₂ —49,10; Fe ₂ O ₃ — 7,98; Al ₂ O ₃ — 21,89; MnO—0,11; CaO—3,58; MgO—1,57; SO ₂ —1,85.
Гематит	14,2	0,006	Fe ₂ O ₃
Ильменит	0,62	0	FeTiO ₃
Магнетит	0,334	0	Fe ₃ O ₄

Как видно из таблицы, наибольшей удельной поверхностью обладает образец сорбента 2. Примерно в два раза меньшую поверхность имеет сорбент 1. Минеральные сорбенты имеют гораздо более низкую поверхность, из них ильменит и магнетит очень малую. Наибольший удельный объём пор имеет сорбент 1, а у ильменита и магнетита он равен нулю. Исходя из этого, можно предположить, что при очистке воды от мышьяка, синтетические сорбенты могут очищать лучше при малом времени контакта.

В работе определена эффективность исследуемых сорбционных материалов при извлечении ионов As^{3+} из модельного раствора. В табл. 2. представлены сорбционные свойства рассматриваемых сорбентов.

Таблица 2

Сравнение сорбционных характеристик исследуемых сорбционных материалов при извлечении ионов мышьяка As^{3+} из водных растворов

Наименование сорбента	Время сорбции, мин.	Концентрация As^{3+} в растворе до сорбции, мг/дм ³	Концентрация As^{3+} в растворе после сорбции, мг/дм ³	Степень сорбции, %
Сорбент 1	15	5	0,187	96,26
	60		0,0983	98,03
	150		0,0853	98,29
Сорбент 2	15		1,29	74,2
	60		0,222	95,56
	150		0,0825	98,35
Гематит	15		5	0
	60		4,2	16
	150		1,525	69,5
Ильменит	15		4,54	9,2
	60		2,801	43,98
	150		2,065	58,7
Магнетит	15		5	0
	60		4,632	7,36
	150		3,871	22,58

Как видно из таблицы, лучшей сорбционной способностью при извлечении ионов As^{3+} , обладает сорбент 1. На 150 минуте, сорбент 2 достигает таких же результатов и уже показывает немного лучшие сорбционные свойства, при извлечении ионов As^{3+} . По результатам эксперимента, минеральные сорбенты гораздо хуже очищают водный раствор от ионов As^{3+} , по сравнению с синтетическими сорбентами. Наиболее худшие сорбционные свойства проявил минерал гематит.

Выводы

По итогам проведённых исследований определены сравнительные структурные характеристики представленных синтетических и минеральных сорбентов. В результате проведения сорбционных процессов выяснили, что минеральные сорбенты обладают гораздо худшими сорбционными свойствами. Минеральные сорбенты, возможно применять при длительных процессах осадительной сорбции, так как при малом времени контакта с загрязнённым раствором, они практически не эффективны.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых № МК-4042.2014.8.

Литература.

1. Родионов А. И. Техника защиты окружающей среды: учебник для вузов / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1989. – С. 512.
2. 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.
3. Серова В. А., Коган В. И., Способы очистки сточных вод и технологических растворов от мышьяка. - М.: Цветинформация, 1977 г., стр. 32.

4. Путилина В. С. Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах // Трансформация, адсорбция / десорбция, миграция: Аналит. обзор / В. С. Путилина, И. В. Галицкая, Т. И. Юганова. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2011. – С. 249.
5. Мартемьянов Д. В., Галанов А. И., Юрмазова Т. А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования № 8 (часть 3). - 2013 год. - С. 666-670.
6. Нуриев А. Н., Джаббарова З. А., Гаибов М. Ю., Неорганический сорбент для селективного извлечения мышьяка из природных вод // Химия и технология неорганических сорбентов: Межвуз. сб. науч. тр. / Перм. политехн. ин-т. - Пермь, 1980 г., стр. 34-39.
7. Жантуаров С. Р., Умирзаков А. Г., Мартемьянов Д. В. Определение сорбционных характеристик природных цеолитов различных месторождений, по извлечению ионов железа из водных сред // Перспективы развития фундаментальных наук: Тезисы докладов X Международной конференции студентов и молодых учёных. - Россия, Томск, 23–26 апреля 2013. - с. 312-314.

ТЕХНОЛОГИЯ АЗОТИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

М.К. Рахадиллов, магистрант гр. 12-МФК-2, Б.К. Рахадиллов, докторант PhD,

А.А. Советханова, студент гр. 12-ТФК-1

*Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д.Серикбаева,
070010, Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19, тел.(7232)-540-043*

E-mail: merrey@mail.ru

Одной из задач дальнейшего развития машиностроения является повышение срока службы металлорежущих инструментов (сверла, метчики, развёртки и др.) [1]. При длительной эксплуатации режущих инструментов изнашивание их рабочей поверхности сопровождается снижением эксплуатационных показателей, что в частности вызывает ухудшение качества изготавливаемых изделий и, часто, требует их замены. Это повышает себестоимость производства из-за больших амортизационных отчислений.

Поэтому режущие инструменты, прежде всего, должны быть износостойкими, прочными, обладать высокой теплостойкостью и коррозионной стойкостью [2]. Данным свойствам можно добиться, применяя поверхностную химико-термическую обработку металлов, и наиболее приемлемым и обеспечивающим данные требования является процесс азотирования [3]. Кроме того, азотирование является наиболее эффективным методом химико-термической обработки (ХТО), которое обеспечивает высокий комплекс эксплуатационных свойств обрабатываемых режущих инструментов: твердость, износостойкость, противозадирные свойства, теплостойкость, коррозионную стойкость, усталостную прочность [4]. В настоящее время разработано большое количество технологических процессов азотирования таких как жидкое азотирование в цианистых ваннах, газовое азотирование, ионно-плазменное азотирование и т.д [5].

Однако, несмотря на массу достоинств этих процессов, они имеют существенные недостатки – большая длительность процесса, дороговизна и экологическая вредность процесса. Поскольку при азотировании потребляется большое количество энергии и технологических материалов, а также во многих случаях в качестве насыщающей среды используется аммиак, вредный для окружающей среды. Поэтому в настоящее время актуальной задачей является разработка ресурсосберегающих технологий, позволяющих интенсифицировать процесс поверхностного насыщения, уменьшить время обработки, снизить энергозатраты, улучшить экологические показатели процесса и сократить расход насыщающего газа.

С целью решения этих задач авторами данного проекта разработан ресурсосберегающий, высокопроизводительный способ азотирования режущих инструментов в электролитной плазме, который практически не имеет вышеизложенных недостатков [6]. Кроме того, разработанный способ электролитно-плазменного азотирования может быть осуществлен в условиях малого термического участка единичного и мелкосерийного производства, опытных и ремонтных предприятиях при минимальных затратах на оборудование, вспомогательные материалы и электроэнергию, при простоте его осуществления и максимальной эффективности обработки.

В связи с этим, авторы настоящей работы предлагают использовать технологию электролитно-плазменного азотирования в электролите на основе карбамида для повышения износостойкости режущего инструмента из быстрорежущих сталей.

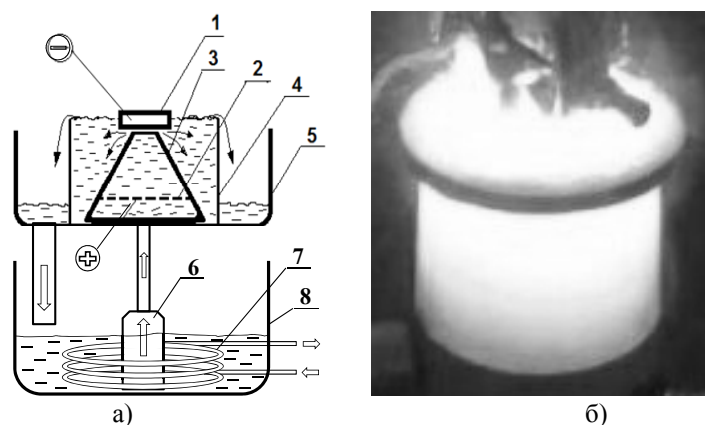


Рис. 1. Схема установки и процесс электролитно-плазменного азотирования образца быстрорежущей стали: 1-обрабатываемый образец (катод), 2-анод из нержавеющей стали с отверстиями, 3-конусообразная перегородка, 4-электролитическая ячейка, 5-поддон, 6-насос, 7-теплообменник, 8-рабочая камера - ванна с электролитом

Принципиальной новизной предлагаемой технологии является использование в качестве рабочей среды электролитно-плазменного катодного разряда и электролита на основе карбамида [7, 8]. Это позволяет сократить накладные расходы, упростить технологическое оборудование и сделать процесс модифицирования экологически безопасным. При этом предлагаемая технология является энергоэффективной за счет интенсификации процесса модифицирования электролитно-плазменными разрядами, экологически чистой за счет использования в качестве насыщающей среды электролита на основе карбамида и превосходит имеющиеся аналоги по экономичности, а самое главное - экологичности. На рисунке 1 показаны схема установки и процесс электролитно-плазменного азотирования образца быстрорежущей стали.

В рамках данной работы было проведено азотирование с электролитно-плазменным нагревом образцов инструментальных быстрорежущих сталей P9, P6M5 и P18, подвергнутые стандартной термической обработке (закалка с последующим трехкратным отпуском) для каждого вида стали [9]. Процесс обработки проводили в электролите из водного раствора, содержащего 20% карбамида, 10% карбоната натрия в следующем режиме: температура азотирования образцов – 550°C, подаваемое напряжение между анодом и образцом при нагреве до температуры азотирования – 320 В, а при выдержке при 550°C – 200 В, время азотирования 7 минут.

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе «ALTAMI-MET-1M». Исследования фазового состава и кристаллической структуры образцов стали осуществляли методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре D8 ADVANCE в CuK_α -излучении, используя шаг размером 0.02° и время шага 0,2 с. Трибологические испытания на трение скольжения проводили на высокотемпературном трибометре ТНТ-S-BE-0000 по схеме «шар – диск». В качестве контртела использовали шарик диаметром 6,0 мм, из сертифицированного материала – Al_2O_3 . Испытания проводили на воздухе (температура окружающей среды 30°C, атмосферное давление 25,4 атм., влажность 44,0%) при нагрузке 1 Н и линейной скорости 2 см/сек, радиусом кривизны износа 5 мм, путь трения составлял 31,4 м. Количество циклов испытаний для всех образцов было одинаковое и составляло 1000. Трибологические характеристики модифицированного слоя характеризовались интенсивностью изнашивания. Испытания образцов на абразивный износ проводили на экспериментальной установке для испытаний на абразивное изнашивание при трении о не жестко закрепленные частицы абразива по схеме «вращающийся ролик – плоская поверхность» в соответствии с ГОСТ 23.208-79, который совпадает с американским стандартом ASTM C 6568. В качестве абразивных частиц использовался электрокорунд зернистостью 200...250 мкм. Износ измеряли весовым методом на аналитических весах АДВ-200 с точностью до 0,0001 г. Длина всего износа составляла 28,8 м.

Микроструктура сталей после электролитно-плазменного азотирования приведена на рисунке 2. Видно, что на поверхности наблюдается темнотравящийся азотированный слой, представляющий собой азотистый мартенсит. При этом темнотравящаяся зона плавно переходит в основу. Толщина азотированного слоя сталей P9, P6M5 и P18 составляет 45 мкм, 40 мкм, 35 мкм, соответственно.

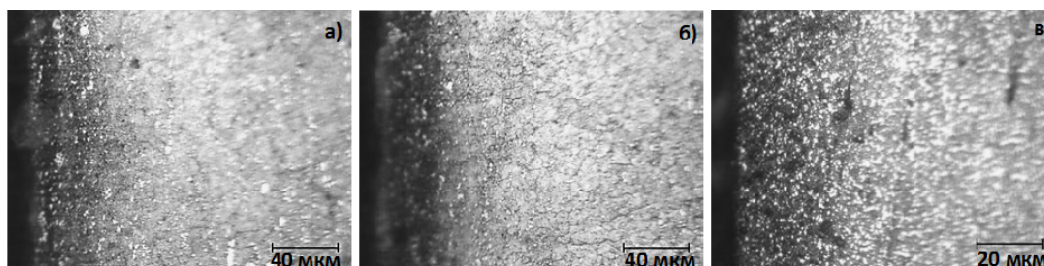


Рис. 2. Микроструктура быстрорежущих сталей после электролитно-плазменного азотирования при $T = 550^{\circ}\text{C}$: а) P9, б) P6M5, в) P18

Результаты рентгеноструктурного анализа отражены в таблице 1. Анализ показал, что в исходном состоянии, то есть, после стандартной термообработки в структуре сталей P9, P6M5 и P18 присутствуют - мартенсит (α -фаза) и карбиды M_6C , MC. Определено, что карбиды типа M_6C наиболее оптимально сочетаются с фазой Fe_3W_3C , а карбиды типа MC соответствуют фазе VC. После азотирования на поверхности формируется Fe_4N -фазы. Количественный анализ показал, что после азотирования не наблюдается заметное изменение содержания карбидных фаз. Содержание нитрида Fe_4N (γ' -фаза) в сталях P9, P6M5 и P18 составляет 5,5 %, 3,9 % и 3,7 % соответственно.

В таблице 1 также показаны результаты испытаний на износостойкость поверхностного слоя быстрорежущих сталей. Из таблицы видно, что относительная износостойкость сталей P6M5 и P18 высокая по сравнению со сталью P9 до и после азотирования. Это связано с тем, что сталь P9 характеризуется меньшим количеством твердых карбидов, легирующих элементов и соответственно, нитридов легирующих элементов.

Таблица 1

Результаты рентгеноструктурного анализа и испытаний на износостойкость

Образец	Обнаруженные фазы	Об. доля фаз, %	Параметры решетки, нм	Размеры ОКР, нм	Интенсивность изнашивания, $\text{мм}^3/\text{Нм}$	Относительная износостойкость K_H
P9, исходный	α -Fe	81	$a = 0,28680$	23,30 (все реф.)	$7,14 \times 10^{-4}$	1,84
	Fe_3W_3C	11,8	$a = 1,10543$	26,14 (100)		
	VC	7,2	$a = 0,41566$	25,01 (100)		
P9, азотированный	α -Fe	76,6	$a = 0,28712$	34,90 (все реф.)	$1,62 \times 10^{-4}$	2,43
	Fe_3W_3C	11,4	$a = 1,10804$	32,79 (100)		
	VC	6,5	$a = 0,41625$	17,43 (100)		
	Fe_4N	5,5	$a = 0,37945$	27,43 (100)		
P6M5, исходный	α -Fe	75,2	$a = 0,28781$	19,20 (все реф.)	$6,52 \times 10^{-4}$	2,04
	Fe_3W_3C	13,7	$a = 1,10867$	38,77 (100)		
	VC	11,1	$a = 0,41663$	18,72 (100)		
P6M5, азотированный	α -Fe	73,2	$a = 0,28784$	26,53 (все реф.)	$1,21 \times 10^{-4}$	2,64
	Fe_3W_3C	13,1	$a = 1,10818$	40,98 (100)		
	VC	9,8	$a = 0,41576$	16,61 (100)		
	Fe_4N	3,9	$a = 0,37923$	40,22 (100)		
P18, исходный	α -Fe	72,2	$a = 0,28720$	50,36 (все реф.)	$6,78 \times 10^{-4}$	1,98
	Fe_3W_3C	17,4	$a = 1,10429$	39,43 (100)		
	VC	10,4	$a = 0,41421$	17,94 (100)		
P18, азотированный	α -Fe	70,5	$a = 0,28822$	41,68 (все реф.)	$1,14 \times 10^{-4}$	2,57
	Fe_3W_3C	16,1	$a = 1,10472$	106,98 (100)		
	VC	9,7	$a = 0,41649$	7,87 (100)		
	Fe_4N	3,7	$a = 0,37756$	97,44 (100)		

На основе данных рентгеноструктурного анализа можно утверждать, что высокая износостойкость азотированного слоя быстрорежущих сталей связана с образованием γ' -фазы и азотистого мартенсита. Образование диффузионного слоя из азотистого мартенсита в поверхностных слоях будет по-

ложительно влиять на эксплуатационные свойства режущего инструмента. Поскольку нитриды железа обладают большей теплоемкостью по сравнению с железом [10]. При этом создаются благоприятные условия для предотвращения температурных всплесков на поверхности режущего инструмента.

Таким образом, установлено, что разработанная технология электролитно-плазменного азотирования позволяет получить азотированный слой толщиной 35-45 мкм с высокой стойкостью к абразивному износу. Значительное повышение микротвердости и износостойкости быстрорежущих сталей после электролитно-плазменного азотирования показывает перспективность применения способа электролитно-плазменного азотирования для повышения работоспособности режущих инструментов из быстрорежущих сталей.

Литература

1. Григорьев С.Н. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента [Текст] : Монография / С. Н. Григорьев; В.П. Табаков, М.А. Волосова. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 379с.
2. Белый А.В., Карпенко Г.Д., Мышкин Н.К. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. – Москва: Машиностроение, 1991; 209 с.
3. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г., Бемер З. Теория и технология азотирования: Монография. – М.: “Металлургия”, 1991.– 320 с.
4. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С., Панайоти Т.А. Ионная химико-термическая обработка сплавов. М., изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1999, 400 с.
5. Суминов И.В., Белкин П.Н. и др. Мир материалов и технологий. В 2-х томах, Том 1, М. изд. Техносфера, 2011, - 464 с.
6. Устройство для нагрева деталей в электролите: Патент на полезную модель Республики Казахстан: МПК6 С21Д 1/44 / Скаков М.К., Рахадиллов Б.К. // - № 912 / Заявл. 10.05.2012; Оpubл. 15.02.2013, Бюл. № 2.
7. Способ плазменно-дугового упрочнения режущего инструмента / Инновационный патент на изобретение Республики Казахстан: МПК С21Д 1/09 / Скаков М.К., Рахадиллов Б.К. / - № 26919 / Заявл. 10.05.2012; Оpubл. 15.05.2013, Бюл. № 5.
8. Рахадиллов Б.К., Скаков М.К., Рахадиллов М.К. Способ упрочнения рабочей поверхности режущего инструмента электролитно-плазменным нагревом - Станочный парк, 2013 - №6 (105). - С. 30 -33.
9. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: Металлургия, 1985. – 408с.
10. Leykin A.E. Materialovedenie, 1971, 416 s.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

*Е.И. Черных, Ю.М. Готовицк, студенты гр. 10600, С.Б. Сапожков, д.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 5-09-06
E-mail: wh13@bk.ru*

Взаимосвязь процессов, обеспечивающих стабильное выполнение технологической процедуры рассматривают, прибегнув к структурно-функциональному методу изучения технических объектов и исследований. В основе данного метода лежит представление технологической структуры как иерархической последовательности взаимосвязанных информационных устройств. Применительно к технологиям плазменной обработки материалов, схема приобретает вид, приведенный на рис. 1 [2].

В качестве ресурсов в любой низкотемпературной плазменной технологии выступают электроэнергия и вещество. Плазматроны классифицируются по функциональному назначению (инструментальные и металлургические, плазменные нагреватели и др.), по видам и свойствам веществ, применяемых в технологических схемах обслуживания процесса.



Рис. 1. Материально-энергетическая структура электроплазменных технологий (ЭПТ)

Получение и передача материалов и энергии происходит по технологическим каналам включенным в общую функциональную схему, в плазматрон. На рис. 2 приведена материально-энергетическая схема плазменной резки металла.



Рис. 2. Материально-энергетическая схема плазменной резки металлов (ПТ — плазматрон; ИП — источник питания, датчики контроля; I — ток; U — напряжение; Q — расход; P — давление; T — температура, % — состав)

формирующий плазменную дугу сопловой узел сказывается на эффективности всего процесса. Возбуждение газового разряда в межэлектродном пространстве с последующей передачей электрической энергии в дугу плазмы обеспечивает при условии стабильной подачи ПОГ генерацию плазменной струи на выходе из сопла плазматрона.

Плазматрон как элемент, выполняющий главную роль во всей технологической цепочке приведен на рис.3 [1].

Стандартными элементами такой схемы являются источник питания, обеспечивающий горение электрической дуги между катодом и анодом в сопловом узле плазматрона, система подготовки плазмообразующего газа, замкнутая система водяного охлаждения соплового узла и сам плазматрон, преобразующий материальные и энергетические потоки в энергию низкотемпературной плазменной струи, воздействующей на металл.

В плазматроне (рис.3) осуществляются процессы обработки и взаимного превращения материалов и энергии. Газовоздушный тракт плазматрона проектируется с учетом минимизации аэрогидродинамических потерь плазмообразующего газа. Способ подачи ПОГ в

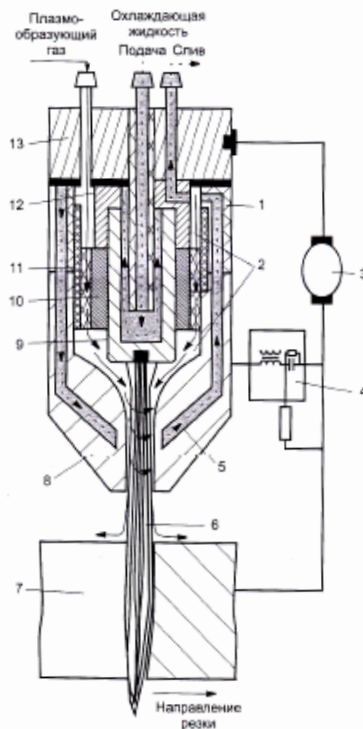


Рис. 3. Конструктивная схема плазматрона для резки металла (прямая полярность): 1 — изолятор; 2 — ГВТ; 3 — источник питания; 4 — устройство зажигания дуги; 5 — тракт охлаждения; 6 — плазменная дуга (струя); 7 — металл (анод); 8 — сопло (анод); 9 — электрод (катод); 10 — завихритель; 11 — уплотняющая втулка; 12 — катододержатель; 13 — хвостовик

Понимание происходящих на этой стадии процессов – важнейший фактор в эффективности проектирования плазменных генераторов.

Обеспечение эффективности данного процесса в соответствии с заданными параметрами качества – главный критерий выбора потребителем соответствующего устройства или технологии.

Негативные факторы, возникающие при работе плазматрона – высокий уровень шума (до 120 – 130 дБ), радиационное излучение и присутствие вредных аэрозолей и газовых компонентов.

Учет материально-энергетических отходов в электроплазменных технологиях – существенный элемент определения эффективности их применения.

Рассмотрение вопросов защиты вредных факторов, а также применение плазмотронов в природоохранных технологиях – важный для специалистов в сферах экологии и обеспечения безопасности жизнедеятельности человека.

Устойчивая работа всей технологической схемы невозможна без соответствующего воздействия на ее отдельные элементы, обеспечивающего контроль и оптимизацию технологических и физических параметров процесса.

При проектировании новых плазмотронов стремятся достигнуть максимальных значений тепловой и электрической мощности, кинетических характеристик плазменной дуги, надежности, долговечности, производительности при минимальных затратах и безопасности работы как отдельных узлов, так и всех элементов технологической схемы.

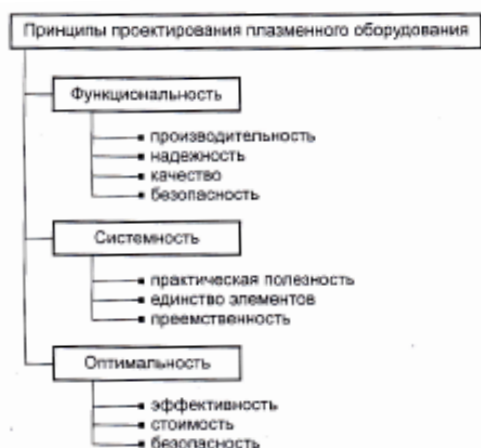


Рис. 4. Принципы проектирования в электроплазменных технологиях

функциональность обеспечивается достижением большого числа факторов, процесс его проектирования должен опираться на системный принцип, подразумевающий разработку не отдельных его узлов, а всей конструкции.

Принцип практической полезности подразумевает целесообразность, целенаправленность и обоснованность проектирования как всей системы, так и отдельных подсистем.

Обеспечение оптимальных параметров проектирования является важным принципом.

Применительно к электроплазменным технологиям речь должна идти об оптимизации по критериям эффективности, стоимости и безопасности. Эффективность подразумевает достижение максимальных показателей производительности процесса с наименьшими материальными и социально-экономическими затратами. Для электроплазменных технологий это означает, что простой принцип улучшения энергетических показателей процесса должен быть сопряжен с анализом обеспечения критериев надежности, качества и безопасности.

При проектировании плазмотрона следует находить оптимальные решения применительно к конкретному процессу или обрабатываемому материалу. При этом можно опираться на большое число разработанных автоматизированных и экспериментальных методов. Оптимизированным должен быть и сам процесс проектирования, что означает применение современных эффективных методов, позволяющих достигать запланированных результатов с минимальными затратами ресурсов.

Литература.

1. Журавлев В.Ф., Шевченко В.Я. Структурно-функциональный метод изучения технических объектов и исследований. Екатеринбург: РГППУ, 2007
2. Ластовирия В.Н., Гладков Э.А. Оптимизация в автоматизированном проектировании сварочных технологий. М.:МГИУ, 2008.

Задача проектирования плазмотронов должна решаться с учетом ряда принципов (рис.4) [2].

В связи с тем, что применение плазменных технологий характеризуется набором опасных и вредных факторов, при разработке такого оборудования уже на стадии техзадания на проектирование необходимо закладывать параметры безопасного функционирования и методы защиты от электрических, газовых, механических и других видов опасных воздействий. Не следует забывать и об эстетической привлекательности проектируемых изделий, простоте и удобстве их обслуживания и управления.

Поскольку плазмотрон по конструктивному и технологическому исполнению является сложным многокомпонентным устройством, а его

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ИЗ ЖЕЛЕЗО- И УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Л.А. Оганян, студент гр. 10280, С.Н. Федосеев, асс. каф. МЧМ

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

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел.: 8 (384-51) 6-22-48

E-mail: fedoseevsn@list.ru

Существует два пути увеличения запасов естественных ресурсов: можно совершенствовать способы обнаружения, доставки, хранения, а можно повышать эффективность их использования. В первом случае мы имеем дело с технологиями разработки запасов, во втором – с технологиями их использования, или с ресурсосберегающими технологиями. Именно технологии использования являются основой концепции устойчивого развития, разработка и реализация которой – ответ человечества на глобальную сырьевую и экологическую угрозу.

Переработка и утилизация техногенных отходов важны не только с точки зрения их использования как альтернативного источника сырья, но и с точки зрения охраны окружающей среды.

При этом по технологическим качествам отходы зачастую превосходят руды, добываемые из недр.

Руды черных металлов, как правило, используются некомплексно, в результате чего теряется значительное количество полезных компонентов, накапливающихся в отвалах и хвостохранилищах.

При устойчивом росте мировой добычи полезных ископаемых лишь 10% сырья, извлекаемого из недр, превращается в готовую продукцию, остальные 90% – это отходы, загрязняющие окружающую среду.

Важным фактором развития металлургической промышленности с позиций ее обеспечения является расширение использования вторичного сырья – лома и отходов черных и цветных металлов. Расширение масштабов использования энерго-, ресурсо- и трудосберегающих прогрессивных технологий практически на всех металлургических переделах должно обеспечить конкурентоспособность производств и продукции.

Современный научно-технический прогресс неразрывно связан с созданием эффективных энергосберегающих технологий, обеспечивающих комплексное использование сырья, материалов и снижение вредного воздействия на окружающую природную среду.

Металлургическое производство технологически сопровождается образованием значительного количества различных отходов, достигающих 30% от выпуска стали. Около 80% из них составляют шлаки, а около 20% приходится на пыли и прочие отходы.

На долю металлургии приходится 38% общих выбросов промышленности, из них на долю черной металлургии – 16%. В зарубежных странах значительные средства расходуются на мероприятия, предотвращающие загрязнение окружающей среды, например, в Германии эти суммы составляют 20-27 долл/т, в Северной Америке – 15 долл/т.

Основным потребителем энергии и источником эмиссии вредных веществ в окружающую среду является агломерационный комплекс (более 70% выбросов приходится на агломерационное и коксохимическое производства). Поэтому принципиальное изменение технологии на этом участке производственного цикла может дать ощутимый эффект.

В агломерационном, доменном и сталеплавильном производствах железосодержащие шламы и пыли составляют 2-5% или 20-50 кг/т продукции. С переходом на взимание экологических налогов пропорционально объемам фактических выбросов производства, в том числе вывоза отходов на технологические свалки, наиболее прогрессивные кампании начали понимать, что значительно дешевле исключить или сократить количество отходов на местах их образования, чем выплачивать экологические налоги.

Утилизация пыли и шламов производится преимущественно на крупных металлургических предприятиях в агломерационном производстве. Для вторичного использования в металлургии применимы только предварительно специально подготовленные данные отходы. Основная технологическая сложность в переработке шламов – обезвоживание их до влажности 10-12 %. В то же время на машиностроительных, сталеплавильных и сталепрокатных предприятиях неполного цикла шламы преимущественно идут в отвалы. В связи с этим актуальным становится развитие компактных производств малой и средней мощности по переработке сухой пыли и шламов во вторичное сырье в виде брикетов, отвечающих требованиям современных металлургических процессов.

В большинстве случаев богатое железосодержащее сырье представляет собой тонкодисперсные концентраты и ведение металлургических процессов в печах требует их окускования для обеспечения достаточной газопроницаемости. Традиционной шихтой для таких переделов является агло-

мерат, окатыши, железо прямого восстановления, чушковый чугун, металлолом, ферромарганец, ферросилиций и т.д., а также минеральное сырье в качестве флюсующих добавок.

Окусование является одной из актуальных задач в подготовке железосодержащих материалов к металлургическому переделу.

Для получения товарного продукта, пригодного для реализации на рынке вторичного сырья, брикет должен отвечать ряду требований:

- не должен содержать вредных для металлургического процесса примесей элементов сверх допустимого уровня;
- обладать прочностью, достаточной для его последующей транспортировки;
- сохранять прочность при увлажнении при транспортировке;
- обладать прочностью при высоких температурах;
- обладать однородностью химического состава;
- обладать однородностью линейных размеров кусков;
- иметь себестоимость, сопоставимую с традиционной.

Окусование мелкодисперсных пылей и шламов позволяет не только обеспечить предприятия дополнительными ресурсами железосодержащих материалов и уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду, но стабилизировать работу основных переделов – подготовки сырья и доменного производства.

Железоуглеродные материалы (окатыши и брикеты из дисперсных компонентов) своим появлением знаменуют переломный момент в осуществлении рационального способа производства железа. Их принципиальное отличие от традиционной шихты по степени дисперсности компонентов, площади поверхности контакта оксидов железа с углеродом и газом) сообщает системе новые качества. Восстановление при этом протекает интенсивнее и совместимо с высоким окислительным потенциалом газа в межкусковых полостях.

На сегодняшний день известны три способа окусования мелких руд, концентратов и отходов: агломерация, грануляция (окомкование) и брикетирование.

Агломерация – процесс получения кусков (агломерата) методом спекания мелкой руды и концентрата с топливом при высокой температуре горения.

Грануляция (окомкование-окатывание) – процесс получения окатышей, основанный на свойстве увлажненных тонко измельченных частиц руды или концентрата образовывать окатыши большей или меньшей крупности и прочности, которым, скатыванием в специальных аппаратах, придается необходимый размер и форма, последующим обжигом – повышенная прочность.

Брикетирование – процесс получения кусков (брикетов) с добавкой и без добавки связующих веществ с последующим прессованием смеси в брикеты нужного размера и формы.

Целью структурообразования мелких материалов является не только получение определенного размера кусков, но и создание в искусственных структурах комплекса заданных физико-химических свойств. В связи с этим существует закономерная причинно-следственная связь технологических параметров процессов структурообразования с качественными характеристиками подготовленных материалов.

Мелкофракционные материалы фракции 0-10 мм обладают низкой газопроницаемостью, что затрудняет их использование в агломерационном процессе без предварительной подготовки.

Брикетирование мелкозернистых и тонкодисперсных материалов со связующими веществами – наиболее универсальный способ вовлечения в переработку ценных топливных, рудных и минеральных сырьевых компонентов, а также ряда техногенных отходов, которые по своему агрегатному физическому состоянию непригодны для непосредственного использования в технологических процессах и аппаратах.

Отличительной особенностью процесса брикетирования является возможность изготовления брикетов из шихтовых смесей, эффективных для основных типов агрегатов металлургического передела.

Наиболее экономически выгодной и экологически безопасной является «холодное» брикетирование. Недостатки ранее принятой технологии изготовления брикетов на штемпельных, револьверных, вальцевых прессах (низкая производительность, сложность оборудования, ограниченность в размерах и т.д.) полностью разрешены на вибропрессовальных линиях по производству строительных изделий.

Проанализировав эксплуатационные качества брикетов с различными связующими и технологичность их применения в производстве, наиболее экономически выгодным является применение портландцемента. К преимуществам портландцемента относятся:

- возможность быстрого (не более 16 часов) достижения требуемой эксплуатационной прочности;
- незначительные энергозатраты для ускорения набора прочности брикетами (обеспечение температуры $t \sim 50^\circ \text{C}$);
- начало схватывания цемента (адгезионная активность) наступает не ранее 2 часов, что обеспечивает возможность «спокойной» эксплуатации оборудования, исключая «заклинивание» машин и механизмов при непродолжительной аварийной остановке;
- цемент не настолько химически агрессивен, как, например, жидкое стекло или известь, работа с которыми требует специальных навыков персонала и специального транспортного и накопительного оборудования;
- портландцемент является гидравлическим вяжущим, то есть сохраняет свои свойства как в воздушно-сухих, так и во влажностных условиях, в отличие от воздушных вяжущих (известки, магнезиального вяжущего, жидкого стекла и др.);
- высокая удельная поверхность цемента позволяет обеспечить достаточное сцепление частиц основных компонентов брикета при минимальном расходе связующего;
- под воздействием вибрации цемент подвергается «разжижению», обеспечивая создание плотной структуры брикета в процессе формования без создания внутренних напряжений, в отличие от воздействия высоких давлений;
- процесс гидратации цемента, происходящий в камерах тепловой обработки, экзотермичен; при твердении цемента выделяется теплота в количестве 40-80 ккал/г (в зависимости от вида цемента), то есть каждая тонна брикета в процессе набора прочности является дополнительным источником тепла в количестве 4000-8000 ккал;
- рынок поставщиков портландцемента достаточно велик, то есть данное вяжущее относится к недефицитным, что является значимым фактором при организации высокопроизводительных брикетных фабрик.

Недостатком портландцемента является содержание серы в количестве 0,4-1,2 %. Однако следует отметить, что в составе брикета цемент не превышает 10 %, то есть каждая тонна брикета привносит в металлургическую шихту 0,04-0,12 % S, что сопоставимо с количеством серы в традиционном углеродосодержащем материале. Портландцемент – это комплексный материал, полученный обжигом и совместным помолом глины и известняка и имеющий в своем составе окислы: CaO – 62-67 %; SiO₂ – 20- 23 %; Al₂O₃ – 4-8 %; Fe₂O₃ – 1-4 %; MgO – 0,5-5 %; SO₃ – 1-3 %; K₂O + Na₂O – 0,5-1 %. Поведение портландцемента при высоких (свыше 1000°C) температурах требует дополнительного изучения. Наличие в составе цемента таких окислов, как CaO, MgO дают основание для предположения, что сера останется в шлаковой части, а не перейдет в расплав металла. Кроме того, в зависимости от времени твердения портландцемента (а этот процесс интенсивно идет в течение 28 суток, а далее развивается медленно) образуются различные кристаллогидраты. Поэтому определение возраста использования брикетов при соблюдении оптимального для плавки соотношения «прочность-температура плавления», также требует дополнительного изучения.

Кроме того, следует сказать о существовании такой разновидности цемента, как глиноземистые цементы. Обладая всеми физико-механическими свойствами, присущими портландцементам, глиноземистые цементы имеют существенные отличия по химическому составу. Содержание основных окислов в глиноземистом цементе: CaO – 35-40 %; SiO₂ – 4-8 %; Al₂O₃ – 35-44 %; FeO – 4-10,5 %; MgO – 0,5-5 %; SO₃ – 0,01-0,32 %; K₂O + Na₂O – 0,1-1,2 %. Использование в качестве вяжущего глиноземистого цемента позволит ограничить количество серы в брикете. Однако следует иметь в виду, что глиноземистый цемент является дефицитным материалом и его цена ~ в 5 раз превышает цену портландцемента.

Рассматривая тему вяжущих материалов для производства металлургических брикетов нельзя не упомянуть о шлакощелочном вяжущем. Применение шлаков в качестве связующего для металлургических брикетов наиболее целесообразно. Однако, в составе шлаков также, как и в портландцементе, присутствует сера в приблизительно равном количестве. Но главная причина, ограничивающая применение шлаков в качестве связующего – это высокие энергетические затраты для активизации шлаков. Шлаки активны, если их удельная поверхность более 4500 см²/г. Для сравнения продолжительность помола шлаков до требуемой тонкости в 2-2,5 раза превосходит продолжительность помола цементного клинкера.

Учитывая все вышеизложенное, можно сделать вывод о преимуществах использования портландцемента в качестве вяжущего при производстве металлургических брикетов, что не исключает

использование других видов связующих (извести, жидкого стекла, магнезиального, шлакощелочного вяжущего и пр.) для решения специальных задач.

Литература.

1. Л.А. Лурье. Брикетирование к металлургии. М. «Металлургия», 1963 г
2. В.П. Булгаков, Г.В. Булгаков. Исследование минералогического состава окалиноуглеродистых брикетов в процессе восстановления. М. «Черная металлургия», № 7, 1998 г.
3. Реферат И.М.Мищенко Утилизация окускованной углеродосодержащей металлургической пыли. «Производство чугуна», 1998 г.
4. О.В. Юзов, В.А. Исаев. Анализ расхода основных ресурсов в черной металлургии России. «Сталь», № 10, 1999 г.
5. В.С. Лисин. Тенденции реструктуризации черной металлургии. «Сталь», № 10, 1999 г.

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЗАВОДОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ «ОКСИКАП»

А. Серикбол, студент гр. 10В20, С.Н. Федосеев, асс. каф. МЧМ

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел.: 8 (384-51) 6-22-48

E-mail: fedoseevsn@list.ru

Сегодня в Германии около 20–25 кг тонкодисперсной стальной пыли, содержащей окалину на тонну термически необработанной стали появляется в очистительных системах на сталеплавильных заводах. Т.к. этот материал содержат цинк, свинец и щелочь, он не может быть переработан для повторного использования и должен быть переработан внешним образом либо вывезен на свалку.

Ограниченные возможности захоронения, растущие цены, требовательные законы и распоряжения правительства, а также обсуждения проблем окружающей среды на государственном уровне – все это затрудняет продолжение такой практики. Поэтому была разработана новая технология переработки этих отходов для повторного использования, предотвращения выбросов, которая отвечает экологическим требованиям и снижает расходы.

Новая технология, названная ОКСИКАП, основана на модернизации вагранки. Она основана на преобразовании холодно окускованных агломератов, содержащих углерод, в жидкий чугун. Основные преимущества этого процесса для сталелитейного производства:

- процесс очень похож на доменную печь, поэтому требуется минимальное обучение оператора
- процесс дополняет жидкий чугун для сталелитейного производства и гарантирует высокий процент использования железосодержащих частиц
- обогащенный цинком шлам может быть продан для дальнейшего восстановления
- все виды металлов, содержащих металл, такие как настывль, десульфурированные металлы и шлак могут быть переработаны

Протекание процесса

Процесс заключается в соединении мелкодисперсных оксидов с восстановителем, содержащим коксовую мелочь. В результате чего получают кирпичи, которые загружаются в шахтовую печь вместе с другим железосодержащим побочным продуктом, коксом или флюсом (рис.1).



Рис. 1. Процесс ОКСИКАП

Пока загруженные вещества опускаются в печь, они разогреваются, и при температуре около 1000°C коксовая мелочь внутри кирпичей превращается в угарный газ, который восстанавливает крупинки, содержащие оксид железа.

Высокая температура и большая площадь поверхности мелкодисперсных отходов делает скорость реакции очень высокой. В лаборатории были проведены опыты по восстановлению и металлзации за несколько минут, тогда как в печи для этого необходимо 20 минут при температуре 1000–1400 °С. Кирпич преобразуется в прямо восстановленное железо, которое затем попадает в зону плавления печи, где оно сплавляется с другим побочным продуктом, содержащим металл.

Цементация жидкого чугуна особенно интенсивно происходит в горне вагранки. Жидкий чугун и шлак постоянно выкачиваются и пропускаются через разделитель жидкого чугуна и шлака; затем жидкий чугун направляется на дальнейшую обработку, а шлак – в систему грануляции. Цинковый компонент отходов испаряется и выходит вместе с доменным газом, как и сильно обогащенная пыль печи.

После лабораторных тестов первое испытание на производстве было проведено на литейной вагранке. Вагранка с производительностью 10 тонн/час работала больше 10-ти часов с 30 % кирпича. В составе жидкого чугуна не наблюдалось никаких изменений и производительность, как и предполагалось, уменьшилась до 8,5 тонн/час. Было небольшое увеличение оксида железа в шлаке с 1 % до 2,5 %, что равняется 1 кг Fe на тонну жидкого чугуна.

Содержание угарного газа в доменном газе возросло и также возросло количество пыли из-за относительно низкой прочности кирпичей.

Основной вывод из испытания: оксид железа был восстановлен и превращен в жидкий чугун.

Шахтная печь Тайсон Хамборн

Для того, чтобы доказать, что этот метод действительно работает, Тайсон Крупп (рис. 2). Сталь совместно с Маннесманн, Кютнер, Б.У.С. и Мессер Грисхайм решили построить опытную шахтную печь в Дуисбурге как реальный демонстрационный завод для производства жидкого чугуна с производительностью 15 тонн/час стоимостью 15 миллионов немецких марок (7,7 миллионов Евро). Периферийное оборудование, например, регенератор, система очистки газа (бывшие в употреблении) были куплены на соседнем литейном заводе, чтобы снизить расходы.



Рис. 2. Технологическая схема переработки отходов

Сама печь была построена на основании бывшей доменной печи №3 в Хамборне.

Внутренний диаметр горна – 2,4 метра, печи – 2,6 метров.

17 000 м³/час холодного дутья разогревается в регенераторе до температуры 520°C и печь оснащается 6 сливными медными фурмами и системой для подачи кислорода. Преимуществом этой технологии по сравнению с обогащением кислорода является более глубокое проникновение, что важно для низкого содержания кокса и расхода огнеупорного материала. Доменный газ уходит из печи при температуре 300°C через систему выпуска газа и в систему очистки газа. Сам горн высотой не больше 5 метров и загрузочный материал в этой части печи изолирует процесс от атмосферы. Доменный газ охлаждают, промывают и затем сжигают либо в регенераторе для разогревания холодного дутья, либо в горелке, т.к. на данном этапе проекта не было доступа к газопроводу сталелитейного цеха.

Печь наполняется сливным огнеупорным материалом и работает как обычная вагранка с водяным золоудалением (дном). Чугун и шлак протекают через выпускное отверстие. Шлак и чугун разделяют в трубопроводе, и процесс сохраняет гибкость вагранки. Возможно закрытие вагранки за 1 минуту.

По результатам лабораторных исследований оптимизированный кирпич, содержащий цементное связующее, был высотой 110 мм в форме шестиугольника. Вместе с оксидами, кирпич содержал мелкодисперсную пыль литейного производства, шлак доменной печи, вторичную окалину, 15 % коксовую пыль и цемент, которые смешивали в специальном смесителе.

Кирпичи формовали на вибропрессе и выстаивали 5 дней перед тем, как использовать в качестве крупногабаритного материала. Содержание железа – около 50 %.

Отходы и вещества, содержащие металл

В течение первых 6 недель после запуска печи использовался только скрап. Затем загружаемые вещества на 100 % состояли из настыли из сталеплавильного производства и магнетических фракций десульфурованного шлака. Материал размером 10 – 600 мм не создавал никаких проблем, более крупные частицы могли быть загружены в ограниченном количестве. Содержание железа в материалах было 70 – 80 % из-за вязкого шлака.

Управление заводом

После разрешения технических монтажных работ стояла задача определения огнеупорности. Из-за показателя 350 – 450 кг/тонну жидкого чугуна, что выше, чем на литейной вагранке (60 кг/тонну жидкого чугуна), выпускное отверстие быстро изнашивалось. Перепроектировав геометрию переднего слива, срок службы выпускного отверстия был продлен до 14 дней: такая же цифра, как и для вагранки, основанной на скрапе. Было возможно выпускать до 10000 тонн жидкого металла и 4000 тонн шлака за один срок службы.

Пропорция кирпичей постоянно увеличивалась до 70 %. Производительность жидкого чугуна возросла, как и ожидалось, благодаря более низкому объему железа на входе.

На этапе создания опытного образца было произведено почти 50000 тонн жидкого чугуна и переработано 5000 кирпичей.

Как показано на, количество кирпичей не влияет на состав жидкого чугуна, а использование металла из десульфурованного шлака имеет результатом высокое содержание серы. Влияние серы на растворимость углерода в жидком чугуне вы можете увидеть. Содержание углерода возрастает до 4 %, т.к. содержание серы возрастает до 1,3 %, кремния – около 1,5 %. Изменение содержания железа в шлаке – это вопрос износа огнеупора на шлаковой летке.

В отличие от литейного производства кремний был восстановлен из шлака.

Более важным является процентное соотношение кирпичей в шихте и проницаемости печи, измеряемой как противодавление в кольцевом трубопроводе. Увеличение противодавления является результатом увеличения доменного газа; не было признаков квази-когезионной зоны, и не наблюдались засорение или зависание.

Коэффициент пустотности возрастает с увеличением количества кирпичей, т.к. кирпичи имеют один размер, и параметры фильтра приближаются к идеальной одно-зернистой структуре, что снижает противодавление. Увеличение количества кирпичей с 55 % до 70 % шихты не повлияло на увеличение противодавления. Можно предположить, что оба действия исключают друг друга.

Параметры печи не менялись на протяжении всего испытания, и даже остановка на час не повлекла за собой проблем.

Заключение и перспективы

Основным выводом работы опытного завода стало то, что процесс преобразования агломератов, содержащих железо и оксид, в жидкий чугун в шахтной печи – стабилен и надежен. Было использовано 22,5 тонн кирпичей/час, в дополнении к 9 тонн настыли/час. Использование настыли до 600 мм в шахтной печи, а не в конвертере, увеличивает эксплуатационные качества кислородного конвертера, позволяет прямой выпуск плавки и снижает затраты на десульфацию.

Чистый скрап, покрытый цинком, может быть использован для кислородного конвейера в больших количествах. Шлам, обогащенный цинком, в ОКСИСАП может быть продан для последующего восстановления. Ненужные мелкодисперсные материалы могут быть удалены со шлакового завода, что улучшает свойства и снижает выбросы.

Литература.

1. Черепанов К.А., Черныш Г.И., Динельт В.М., Сухарев Ю.И. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии. – М.: Металлургия, 1994. – 224 с.
2. Сокуренок А.В., Шеремет В.А., Кекух А.В. Опыт утилизации железосодержащих шламов и вторичной окалины // Сталь. 2006. – №1.
3. Новый способ переработки сталеплавильных отходов. Электронный ресурс: http://briket.ru/newpublications/briket_steel1.html.

СЕКЦИЯ 3: ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МАТЕМАТИКИ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ ОБРАЗЦОВ С РЕЛЬЕФОМ НА СВАРИВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

*Э.В. Валитова, аспирант, А.Х. Ахунова, к.т.н., н.с., С.В. Дмитриев, д.ф.-м.н., зав. лаб.
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН
450001, г. Уфа, ул. Степана Халтурина, 39, тел. (347) 282-38-12
E-mail: elvinochka07@mail.ru*

Современные технологии изготовления конструкций, применяемых в авиастроении, используют практически все виды сварки. Использование сварных конструкций приводит к экономии металла и к более рациональной форме конструкций, при этом стыки в конструкциях выполняются без вспомогательных элементов, утяжеляющих изделия.

Одним из широко используемых способов сварки является сварка давлением (СД). СД осуществляется за счет взаимной диффузии атомов контактирующих частей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при наличии относительно небольших усилий, прижимающих свариваемые детали и обеспечивающих незначительную пластическую деформацию в зоне соединения, что приводит к повышению его качества. Основными параметрами, влияющими на качество твердофазного соединения, являются температура, прижимающее давление, время выдержки, степень пластической деформации в зоне соединения и качество свариваемых поверхностей [1-4]. СД позволяет сваривать не только однородные, но и разнородные металлы и сплавы, которые могут отличаться по своим свойствам [5,6]. С помощью ДС возможно получать соединения таких металлов или сплавов, которые невозможно сварить другими способами.

Соединение при сварке давлением образуется в результате пластической деформации приконтактных объемов. Условия протекания деформации приконтактных объемов, такие как степень и скорость деформации, время сварки, структурные превращения при деформации и нагреве влияют на качество и эксплуатационные свойства сварного соединения. Однако при сваривании деталей с большими контактными поверхностями нередко образуются застойные зоны, где напряженное состояние близко к гидростатическому давлению и пластическая деформация не происходит, так как для ее протекания необходимо наличие сдвигающих усилий. Одним из решений данной проблемы является нанесение рельефа на свариваемых поверхностях с целью обеспечения локальной пластической деформации.

В данной работе методами численного моделирования было исследовано влияние рельефа свариваемых поверхностей на качество готового изделия.

Математическое моделирование

Использование методов компьютерного моделирования, позволяет проанализировать практически все аспекты процесса сварки давлением. Во-первых, моделирование дает возможность судить о качестве полученного соединения в образце, в частности, все приконтактные объемы должны быть заполнены. Во-вторых, по результатам моделирования можно определить геометрические параметры образца, такие как размер, форму и местоположение проточек. В-третьих, в результате моделирования определяется временная характеристика процесса – скорость деформирования и время сварки.

Компьютерное моделирование проводили в двумерной постановке с помощью пакета прикладных программ DEFORM-2D. Исследовались составные образцы с геометрическими размерами 5x18 см. При расчете рассматривалась половина всего образца с учетом плоскости симметрии на левой грани (см. рис. 1). В качестве материала для верхнего элемента образца был выбран ультрамелкозернистый сплав ЭК61, для нижнего – сплав ВКНА. Изучались три вида составных образцов: вариант I – обе свариваемые поверхности образца были плоскими (рис. 1, а); вариант II – обе свариваемые поверхности образца имели рельеф (рис. 1, б); вариант III – верхний элемент образца имел гладкую свариваемую поверхность, рельеф наносился только на нижний элемент (рис. 1, в). После нанесения проточек поверхность элемента в сечении имела вид синусоиды.

Сварка давлением проводилась при температуре 850⁰С и скорости деформации 10⁻³. На рис. 2, 3 и 4 приведены результаты моделирования в виде эпюр распределения интенсивности и скорости деформаций для рассматриваемых видов образцов I, II и III, соответственно.

Известно, что при сварке образца без проточек образуются зоны затрудненной деформации, так называемые застойные зоны (рис. 2, а). Как было отмечено выше, для того, чтобы избежать этого, на свариваемые поверхности наносят рельеф. Однако, в случае нанесения проточек на обе свариваемые поверхно-

сти, картина распределения деформаций не меняется (рис. 3, а). Начальная контактная площадь элементов образца II больше, чем в образце I, однако со временем она и в том и другом случае практически не увеличивается. Это создает неблагоприятные условия для пластической деформации, что приводит к образованию зон затрудненной деформации, и, как следствие, к ухудшению качества сварки.

Для образца III увеличение площади контакта происходит в результате деформации плоской поверхности, когда материал верхнего элемента заполняет проточки, причем заполнение идет от центра образца к периферии. Это ведет к возникновению локальных очагов деформации (рис. 4, а), которые улучшают качество сварного шва. Оставшиеся микропустоты "зарастают" в процессе взаимной диффузии.

Отметим, что картины распределения скоростей деформации практически не изменяются для всех рассматриваемых видов образцов (рис. 2,б, 3,б и 4, б).

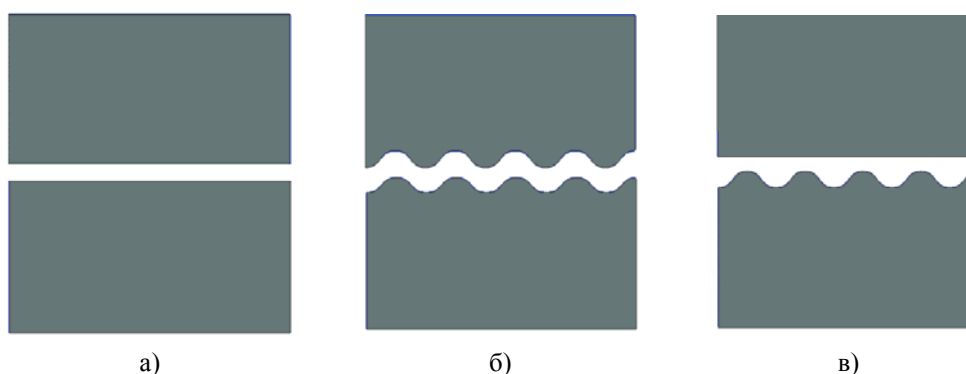


Рис. 1. Конечнoэлементная модель свариваемого образца: а) вариант I– обе свариваемые поверхности образца плоские, б) вариант II – обе свариваемые поверхности образца имеют рельеф, в) вариант III– рельеф на свариваемой поверхности имеет только нижний элемент.

Представлена половина расчетного блока с плоскостью симметрии на левой грани.

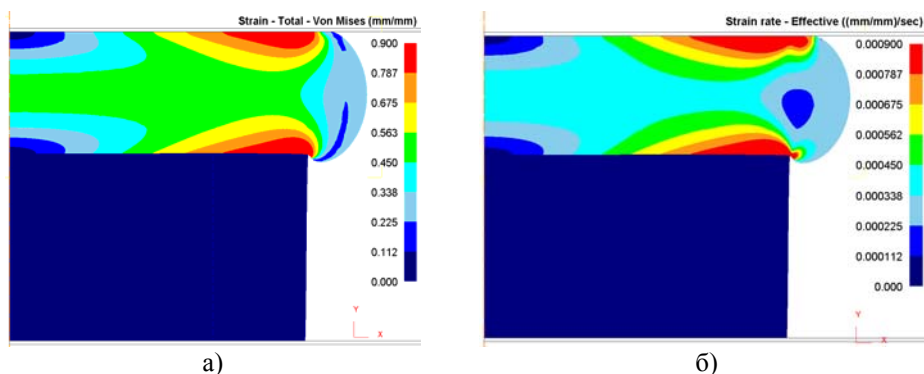


Рис. 2. Распределение интенсивности (а) и скорости (б) деформаций для образца I

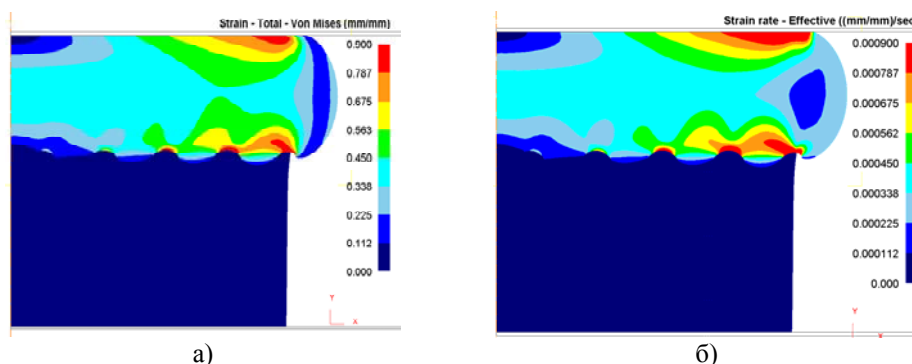


Рис. 3. Распределение интенсивности (а) и скорости (б) деформаций для образца II

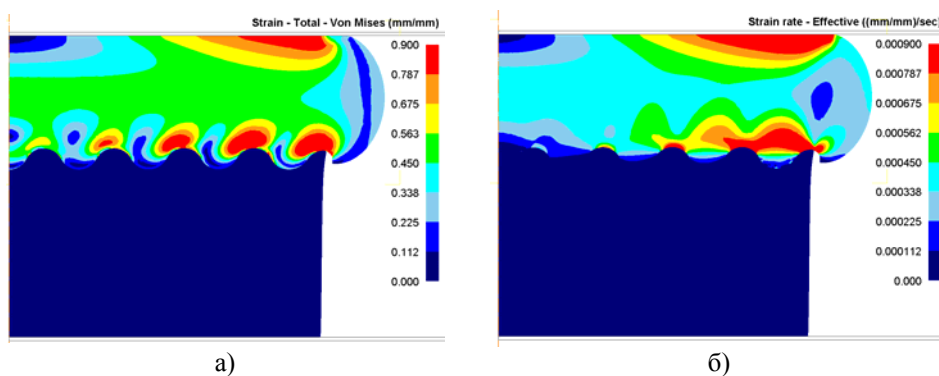


Рис. 4. Распределение интенсивности (а) и скорости (б) деформаций для образца III

На рис. 5 приведено значение гидростатического давления, как функция от времени, в центре и на периферии сварного шва образцов I, II и III. Как известно, гидростатическое давление выше в средней части образца, которое уменьшается по мере приближения к периферии. Видно, что графики для образцов I и II практически совпадают. В образце III происходит более сложный вид деформации.

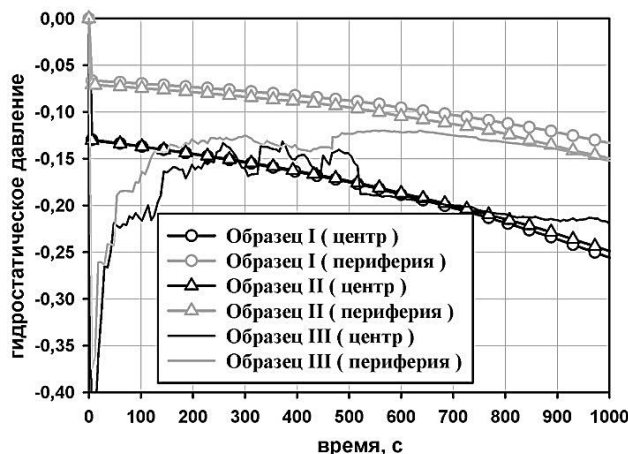


Рис. 5. Значение гидростатического давления, как функция от времени, в центре и на периферии сварного шва образцов I, II и III

Таким образом, из анализа полученных данных моделирования можно сделать заключение, что более эффективным способом подготовки свариваемых поверхностей является способ, при котором проточки наносятся только на одну свариваемую поверхность.

Выводы

На основании проведенных расчетов можно сформулировать следующие выводы.

- 1) Способ сварки, при котором рельеф наносится на обе свариваемые поверхности (образец II), эквивалентен повышению трения между контактными поверхностями. Это приводит к значительному снижению сдвиговой деформации вблизи контактной поверхности, и, как следствие, ухудшает качество сварки по сравнению с традиционной сваркой плоских поверхностей (образец I).
- 2) Более эффективным способом сварки является сварка образцов с нанесением рельефа только на один свариваемый элемент (образец III), поскольку в этом случае возникают зоны активной деформации в той области, где в других образцах появляются застойные зоны.
- 3) Ввиду того, что в средней части образца реализуется более высокое гидростатическое давление, проточки в этой области образца заполняются раньше, чем на периферии. За счет более позднего соприкосновения свариваемых поверхностей на дне проточек, там можно ожидать более низкое качество сварки, что можно компенсировать увеличением времени сварки.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 13-08-12200 и 14-08-97061

Литература.

1. Е.Н. Петров, В.В. Родионов, Э.Н. Кузьмин, Р.Я. Лутфуллин, Р.В. Сафиуллин. Ячеистые конструкции. Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2008. - 176 с.
2. К. И. Томас, Д. П. Ильященко. Технология сварочного производства: учеб. пособие. Томск: Изд - во Томского политехнического университета, 2009. – 244 с.
3. Лутфуллин Р.Я. Сверхпластичность и твердофазное соединение наноструктурированных материалов. Часть 1. Влияние размера зерна на твердофазную свариваемость сверхпластичных сплавов // Письма о материалах. 2011. Т. I. № 1. С. 59-64.
4. Лутфуллин Р.Я. Сверхпластичность и твердофазное соединение наноструктурированных материалов (Обзор). Часть II. Физическая модель формирования твердофазного соединения в титановом сплаве в условиях низкотемпературной сверхпластичности // Письма о материалах. 2011. Т. I. № 2. С. 88-91.
5. Валитова, Э. В. Влияние скорости и температуры деформации на микроструктуру и свойства ультратемпературного свариваемого сплава ХН58МБЮД [Текст] / Э. В. Валитова, Р. Я. Лутфуллин, В. А. Валитов // Перспективные материалы. – 2013. – Спец. вып. 15. – С. 30-34.
6. Валитова, Э. В. Формирование ультратемпературной и нанокристаллической структуры методами интенсивной пластической деформации в никелевом сплаве ХН58МБЮД [Текст] / Э. В. Валитова, Р. Я. Лутфуллин, М. Х. Мухаметрахимов, В. А. Валитов // Перспективные материалы. – 2013. – Спец. вып. 15. – С. 35-39.

ЛОКАЛЬНЫЙ d -ОПЕРАТОР ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ДРОБНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПОРЯДКОВ ВЕЩЕСТВЕННОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

В.А. Чуриков, к. ф.-м. н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822) 563-593

E-mail: vachurikov@list.ru

Дробный анализ является обобщением классического анализа на случай, когда операции дифференцирования и интегрирования классического анализа обобщаются на дифференцирование и интегрирование любых конечных вещественных, или комплексных порядков.

Дробный анализ основывается на операторах дробного дифференцирования и дробного интегрирования (*дробного интегродифференцирования*), которые относятся к *нелокальным операторам* и *локальным операторам*. Нелокальные операторы являются интегральными преобразованиями сформулированными в рамках классического анализа, которыми заменяют операторы интегродифференцирования классического анализа. Нелокальных операторов дробного интегродифференцирования было предложено достаточно много, которые подробно рассматриваются в литературе [1 – 7]. Локальные операторы не являются интегральными преобразованиями и их можно интерпретировать как алгебраические преобразования функций, на которые они действуют. В этом смысле классический анализ является локальной теорией. Поэтому представляется более правильным, чтобы дробный анализ строился как локальная теория, т. е. операции дробного интегродифференцирования не должны быть интегральными преобразованиями. Локальным операторам было посвящено меньше исследований, чем нелокальным операторам.

Недостатком как нелокальных, так и локальных операторов дробного интегродифференцирования, является то, что они в частном случае не дают операторы интегродифференцирования классического анализа, или другими словами, для них не выполняется *принцип соответствия*.

В работах [8 – 9] был введен d -оператор – локальный оператор дробного дифференцирования и дробного интегрирования, который действует в пространстве степенных функций вещественных порядков.

Для d -оператора выполняется *принцип соответствия*, а именно, в частном случае, для порядка интегродифференцирования равного 1, d -оператор переходит в операторы дифференцирования и интегрирования степенных функций классического анализа [11] и абсолютно с ними совпадает.

В работе [12] был введен d -оператор для дискретной переменной, где порядки интегродифференцирования и показатели степенных функций являются комплексными.

В работах [8 – 10, 12] d -оператор претерпел определенную эволюцию, которая привела к последней версии d -оператора, которая формулируется и рассматривается в данной работе.

Рассмотрим более общий случай d -оператора одной непрерывной вещественной переменной, у которого порядки интегродифференцирования и показатели степенных функций, на которые он дейст-

вует, являются комплексными числами. Кроме того, в рассматриваемый d -оператор внесены изменения, связанные с логарифмическими случаями. Последние доработки делают d -оператор более адекватным для дальнейшего развития локального дробного анализа и для его практических приложений.

Изменения, внесённые в d -оператор, соответствуют изменениям внесённым в новый G -оператор комплексных порядков, который действует в пространстве вещественных степенных функций с комплексными показателями [13]. G -оператор является множеством локальных операторов интегриродифференцирования комплексных порядков, которые являются обобщениями d -оператора, для которых выполняется принцип соответствия. При этом d -оператор, является самым простым оператором дробного интегриродифференцирования из множества G -оператора комплексных порядков, действующих в пространстве степенных функций с комплексными показателями и, в свою очередь, является минимальным обобщением операторов дробного интегриродифференцирования степенных функций классического анализа. Эти свойства d -оператора соответствуют *принципу простоты*, по которому локальный дробный анализ строится на основе наиболее простых операторов действующих над пространством степенных функций, которые являются одними из самых простых элементарных функций.

Кроме этого, очень важно, что степенные функции являются универсальными в том смысле, что они являются степенными для любых порядков интегриродифференцирования. Другие элементарные функции такой универсальностью не обладают, например экспоненты одного порядка уже не являются экспонентами для других порядков интегриродифференцирования.

d -оператор комплексного порядка

Определение. d -оператором комплексного порядка $s = \chi + i\gamma$, $\chi, \gamma \in \mathbb{R}$; $\chi, \gamma = \text{const}$; $\chi, \gamma \geq 0$, дробного дифференцирования и дробного интегрирования вещественной переменной x , действующим в пространстве степенных функций x^q , вещественной переменной x с комплексными показателями $q = \mu + i\nu$; $\mu, \nu \in \mathbb{R}$; $\mu, \nu = \text{const}$, называется отображение определяемое равенствами.

Знаки, стоящие перед порядками интегриродифференцирования s определяет тип операции. Если знак положительный, то это операция интегрирования, а если знак минус – операции дифференцирования.

Порядок $s = \chi = \gamma = 0$, в первом, и/или во втором равенстве соответствует *единичному оператору 1*, который функциям, ставит в соответствие самих себя, что можно записать как $d^0 x : f(x) = \mathbf{1} : f(x) = f(x)$.

$$\left\{ \begin{array}{l} d^{-s} x : x^q \equiv \frac{d^s}{dx^s} x^q = \frac{\Gamma(q+1)}{\Gamma(q-s+1)} x^{q-s} + C_{-s}(x); \quad \neg[(q = -1, -2, -3, \dots) \vee (q-s \neq -1, -2, -3, \dots)]; \\ d^s x : x^q \equiv \int x^q d^s x = \frac{\Gamma(q+1)}{\Gamma(q+s+1)} x^{q+s} + C_s(x); \quad \left\{ \begin{array}{l} \neg[(q = -1, -2, -3, \dots) \vee (q+s \neq -1, -2, -3, \dots)]; \\ s \neq -q; \end{array} \right. \\ d^{-s} x : x^{-m} \equiv \frac{d^s}{dx^s} x^{-m} = \frac{(-1)^{m-1}}{(m-1)!\Gamma(-s-m+1)} x^{-m-s} + C_{-s}(x); \quad m \in \mathbb{N}; -s-m \neq -1, -2, -3, \dots; \\ d^s x : x^{-m} \equiv \int x^{-m} d^s x = \frac{(-1)^{m-1}}{(m-1)!\Gamma(s-m+1)} x^{-m+s} + C_s(x); \quad \left\{ \begin{array}{l} m \in \mathbb{N}; s-m \neq -1, -2, -3, \dots; \\ s \neq m; \end{array} \right. \\ d^s x : x^{-s} = \ln_s(x) + C_s(x); \quad s \neq 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

Когда порядок интегриродифференцирования вещественный, $s = \text{Re}(s) = \chi > 0$, то если в равенствах (1) перед показателем порядка оператора s , стоит знак минус, то это будет соответствовать *оператору дробного дифференцирования вещественного порядка χ* , а если значение порядка оператора со знаком плюс, то это будет соответствовать *оператору дробного интегрирования вещественного порядка χ* .

Когда порядок интегриродифференцирования мнимый, $s = i \text{Im}(s) = i\gamma$ и $\gamma > 0$, а в равенствах (1) перед показателем порядка оператора s , стоит знак минус, то это будет соответствовать *оператору дробного дифференцирования мнимого порядка γ* , а если значение мнимого порядка оператора со знаком плюс, то это будет соответствовать *оператору дробного интегрирования мнимого порядка γ* .

Если порядок интегриродифференцирования комплексный, $s = \chi + i\gamma$ и $\chi, \gamma > 0$, а знак у порядка отрицательный, то это будет *дробное дифференцирование комплексного порядка*, а если знак положительный, то *дробное интегрирование комплексного порядка*.

Если знаки у вещественной и мнимой части порядка интегриродифференцирования различаются, т. е. $s = -\chi + i\gamma$, или $s = \chi - i\gamma$, то такие порядки формально будем называть *смешанными комплексными порядками дифференцирования* и *смешанными комплексными порядками интегрирования*, соответственно. В этом случае нельзя говорить однозначно только о дифференцировании, или только об интегрировании.

Величины $\Gamma(q+1)/\Gamma(q \mp s + 1)$ в первом и втором равенствах (1) называются *коэффициентом дифференцирования* для знака минус перед порядком s и *коэффициентом интегрирования* для знака плюс перед s . В этих коэффициентах в числителе у гамма-функции $\Gamma(q+1)$ исключены значения, попадающие в полюса, которые являются важными частными случаями, но не исключены полюсы у гамма-функций в знаменателях коэффициентов.

Если гамма-функции в числителе попадают в полюса, что случается для целых отрицательных показателей степенных функций, на которых действует оператор, т. е. $q = -m$. Тогда гамма-функция в полюсах заменяется вычетами соответствующими этим полюсам по формуле $\text{Res}_{\alpha = -m} \Gamma(\alpha) = (-1)^m / m!$; $m = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ [14], которой в рассматриваемом d -операторе будет соответствовать равенство $\text{Res}_{q+1=1-m} \Gamma(q+1) = (-1)^{m-1} / (m-1)!$; $m = 1, 2, 3, 4, \dots$. В результате при дифференцировании и интегрировании при такой замене будут соответственно четвертое и пятое равенства с коэффициентами $(-1)^{m-1} / (m-1)! \Gamma(\mp s - m + 1)$.

Теперь рассмотрим отдельно все равенства в операторе (1).

Первое равенство определяет дробное дифференцирование порядка s . Дополнительные условия исключают случаи дифференцирования, когда гамма-функция в числителе обращается в бесконечность, при попадании аргумента в полюса гамма-функции, когда одновременно гамма-функция в знаменателе не равна бесконечности. Полюсы у гамма-функции имеются для отрицательных целочисленных порядков $q = \text{Re}(q) = \chi = -1, -2, -3, \dots$. Эти условия представлены в виде логического отрицания двух возможных ситуаций, которые не должны выполняться одновременно для гамма-функций в числителе и в знаменателе т. е. $\neg[(q = -1, -2, -3, \dots) \vee (q - s \neq -1, -2, -3, \dots)]$.

Второе равенство определяет дробное интегрирование порядка s . Первые дополнительные условия исключают случаи интегрирования, когда гамма-функция в числителе обращается в бесконечность, при попадании аргумента в полюса гамма-функции, когда одновременно в знаменателе гамма-функция не равна бесконечности. Эти условия тоже представлены в виде логического отрицания двух возможных ситуаций, которые не должны выполняться одновременно для гамма-функций в числителе и в знаменателе, т. е. $\neg[(q = -1, -2, -3, \dots) \vee (q + s \neq -1, -2, -3, \dots)]$. Второе дополнительное условия исключают интегрирование в логарифмических случаях.

Третье равенство определяют дифференцирование в случаях, которые исключены в первом равенстве. Дополнительное условие исключает случаи, когда значения гамма-функции в знаменателе не должно попадать в полюс. Эти случаи дифференцирования находятся с помощью первого равенства оператора, где гамма-функции в числителе и в знаменателе одновременно обращаются в бесконечность. В этом случае бесконечности в коэффициенте сокращаются.

Четвертое равенство определяют интегрирование в случаях, исключаемых во втором равенстве. Первое дополнительное условие исключает случаи, когда значения гамма-функции в знаменателе не должно попадать в полюс. Эти случаи интегрирования находятся с помощью второго равенства оператора, где гамма-функции в числителе и в знаменателе одновременно обращаются в бесконечность. В этом случае бесконечности в коэффициенте сокращаются.

Второе дополнительное условие исключает случаи интегрирования в логарифмических случаях.

Пятое равенство определяет интегрирование в логарифмических случаях, когда порядок интегрирования s равен показателю степенных функций с отрицательным знаком $-s$.

Логарифмические случаи возникают, когда при отрицательных показателях степенных функций $-q < 0$, выполняется *условие логарифмичности*, т. е. $s - q = 0$, которое разделяет *область пара-*

большинности $s - q > 0$ и область гиперболичности $s - q < 0$ для показателей степенных функций, которые могут получаться после дробного интегрирования порядка s .

Функции $\ln_s(x)$ являются логарифмами комплексного порядка s , которые требуют дальнейшего исследования. В частности, в классическом анализе, для $s=1$ логарифм будет $\ln_1(x) \equiv \ln(x)$. Для интегрирования степенной функции x^{-1} в классическом анализе из d -оператора будет следовать справедливо по принципу соответствия $d^1 x : x^{-1} = \ln(x) + C$, из которого следует более общее равенство: $d^1 x : x^{-1} = \ln |x| + C_1$.

Логарифм $\ln_s(x)$ порядка s являются обратной функцией для функции $\exp_s(x)$, которая названа главной экспонентой порядка s [15] $\ln_s(\exp_s(x)) = \exp_s(\ln_s(x)) = x$.

Данные соотношения для главной экспоненты обобщают экспоненты вещественной переменной вещественных порядков на случай экспоненты вещественной переменной комплексных порядков s с конечным модулем $\|s\| < \infty$, который выражается через дробнотепенной ряд [10]

$$\exp_s(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^{ns-1}}{\Gamma(ns)} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{x^{(m+1)s-1}}{\Gamma((m+1)s)} = \frac{x^{s-1}}{\Gamma(s)} + \frac{x^{2s-1}}{\Gamma(2s)} + \frac{x^{3s-1}}{\Gamma(3s)} + \frac{x^{4s-1}}{\Gamma(4s)} + \dots$$

Главная экспонента вещественных порядков была получена, в частности, в [14] для локально-го оператора Адамара [16]

Наличие логарифмических функций, которые не являются степенными, говорит о том, что для d -оператора пространство степенных функций не является замкнутым.

Функции $C_s(x)$ в (1) являются полиномами интегрирования порядка s . Полиномы интегрирования являются обобщениями констант интегрирования классического анализа [8 – 10]; $C_{-s}(x)$ – полиномы дифференцирования порядка s , которые для комплексных порядков вещественной переменной рассматривались в [12]. Полиномы дифференцирования комплексных порядков являются аналогами полиномов интегрирования комплексных порядков для случая дифференцирования комплексных порядков.

Полиномы интегрирования $C_s(x)$ и полиномы дифференцирования $C_{-s}(x)$ легко объединить в полиномы интегриродифференцирования и обозначать как $C_{\pm s}(x)$, которые для комплексных порядков вещественной переменной определяются в [17], а здесь даются для непрерывной вещественной переменной с уточнениями.

Определение. Полиномами интегриродифференцирования комплексного порядка s вещественной переменной x , будем называть функцию $C_{\pm s}(x)$ задаваемую равенствами для разных значений порядков s

$$C_{\pm s}(x) = \begin{cases} C_{\alpha}(x) = \sum_{k=1}^{\infty} a_k x^{-k+\alpha}; & s = \alpha; a_k \in \mathbb{C}; \alpha, a_k = \text{const}; \|a_k\| < \infty; \alpha \neq 1, 2, 3, 4, \dots; \\ & \chi, \gamma \in \mathbb{R}; \chi, \gamma = \text{const}; \chi, \gamma \geq 0; \infty > \|\alpha\| > 0; (\alpha = \chi + i\gamma) \wedge (\alpha = \chi - i\gamma); \\ C_m(x) = \sum_{k=0}^{m-1} b_k x^k; & s = m; m \in \mathbb{N}; b_k \in \mathbb{C}; b_k = \text{const}; \|b_k\| < \infty; \\ C_0(x) = 0; & s = 0; \\ C_{-\alpha}(x) = \sum_{k=1}^{\infty} h_k x^{-k-\alpha}; & -s = -\alpha; h_k \in \mathbb{C}; \alpha, h_k = \text{const}; \|h_k\| < \infty; \alpha \neq 1, 2, 3, 4, \dots; \\ & \chi, \gamma \in \mathbb{R}; \chi, \gamma = \text{const}; \chi, \gamma \geq 0; \infty > \|\alpha\| > 0; (\alpha = \chi + i\gamma) \wedge (\alpha = \chi - i\gamma); \\ C_{-m}(x) = 0; & -s = -m; m \in \mathbb{N}. \end{cases} \quad (2)$$

Полиномом интегриродифференцирования порядка s соответствует полиномам интегрирования для нецелочисленных комплексных порядков $\pm s = \pm \alpha$ и для целочисленных вещественных порядков $\pm s = \pm m$ с положительным знаком (первые два равенства).

Для порядка равного нулю $s=0$, полиномы дифференцирования и полиномы интегрирования совпадают и равны нулю (третье равенство). Для данного тривиального случая справедлива запись: $C_0(x) = C_{-0}(x) = 0$.

Полиномам дифференцирования соответствуют нецелочисленные комплексные порядки $-s=-\alpha$ и целочисленные вещественные порядки $s=-m$ с отрицательным знаком (четвёртое и пятое равенства). В случае целочисленных порядков $s=-m$, включая порядок 1 (классический анализ), полиномы дифференцирования отсутствуют, поэтому они в этих случаях формально были приравнены к нулю.

Для полиномов интегродифференцирования можно ввести обозначения, в котором полиномы интегрирования и полиномы дифференцирования входят в другом порядке $C_{\mp s}(x) = 0$.

Для полиномов интегродифференцирования можно ввести обозначения, в котором полиномы интегрирования и полиномы дифференцирования входят в другом порядке $C_{\mp s}(x) = 0$.

Коэффициенты a_k , и b_k в полиномах интегродифференцирования являются произвольными комплексными константами интегрирования, а h_k - произвольными комплексными константами дифференцирования.

Произвольность констант a_k , b_k и h_k приводят к соответствующей произвольности полиномов интегродифференцирования. Все константы a_k , b_k и h_k имеют конечные модули $|a_k|, |b_k|, |h_k| < \infty$.

В ряде случаев, например при решении дифференциальных уравнений, при задании начальных и краевых условий, константы a_k и b_k могут оказаться взаимосвязанными между собой. В частных случаях взаимосвязанными могут оказаться и константы дифференцирования h_k .

Ряды полиномов интегрирования $C_{+s}(x)$ и полиномов дифференцирования $C_{-\alpha}(x)$ нецелочисленных порядков, в зависимости от значений констант a_k и h_k , могут быть как сходящимися, так и расходящимися.

Полиномы интегродифференцирования можно отнести к элементарным функциям локального дробного анализа, которые в частном случае классического анализа переходят в константы интегрирования при интегрировании и в ноль для случая дифференцирования.

d -оператор является линейным, т. е. для него справедливо равенство

$$d^{\pm s}x : (\mu f(x) + \nu g(x)) = \mu d^{\pm s}x : f(x) + \nu d^{\pm s}x : g(x); \quad \mu, \nu \in \mathbb{C}; \quad \mu, \nu = \text{const}.$$

Здесь $f(x)$ и $g(x)$ некоторые интегродифференцируемые d -оператором функции, если перед s стоит знак плюс и интегрируемые d -оператором функции, если перед s стоит знак минус.

Для полиномов интегродифференцирования справедлива теорема, которая обобщает утверждение о равенстве нулю производной константы классического анализа.

Теорема. Если $C_{\pm s}(x)$ и $\tilde{C}_{\pm s}(x)$ произвольные полиномы интегродифференцирования порядка s , то при их дробном интегродифференцировании порядка s , будут выполняться уравнения [17]

$$d^{\pm s}x : C_{\mp s}(x) = \tilde{C}_{\pm s}(x).$$

Доказательство. Выполнение первого и четвёртого равенств легко показать

$$d^{\pm s}x : C_{\mp s}(x) = d^{\pm s}x : \sum_{k=1}^{\infty} b_k x^{-k \mp s} = C_{\mp s}^{(\mp s)}(x) + \tilde{C}_{\pm s}(x) = \sum_{k=1}^{\infty} b_k \frac{\Gamma(-k-s+1)}{\Gamma(-k+1)} x^{-k} + \tilde{C}_{\pm s}(x) = \tilde{C}_{\pm s}(x).$$

Здесь $F^{(\mp s)}(x)$ - первообразная порядка s при положительном знаке, а при отрицательном знаке производной порядка s функции $f(x)$, а в другом обозначении будет $F^{(\mp s)}(x) \equiv f^{(\pm s)}(x)$.

Для второго равенства

$$d^{-m}x : C_m(x) = d^{-m}x : \sum_{k=0}^{m-1} a_k x^k = \sum_{k=0}^{m-1} a_k \frac{\Gamma(k+1)}{\Gamma(k+1-m)} x^{k-m} = \sum_{k=0}^{m-1} a_k \frac{\Gamma(k+1)}{\infty} x^{k-m} = 0.$$

Для третьего равенства будет: $d^0x : C_0(x) = d^0x : 0 = 0$.

Для пятого равенства эти уравнения дают: $d^m x : C_{-m}(x) = d^m x : 0 = C_m(x)$ ■

Очевидно, что если порядки интегродифференцирования s и порядки полиномов интегродифференцирования v в общем случае не совпадают, то будет справедлива более общая формула

$$d^{\pm s}x : C_{\mp v}(x) = C_{\mp v}^{(\mp s)}(x) + \tilde{C}_{\pm s}(x).$$

Здесь $C_{\mp v}^{(\mp s)}(x) \neq 0$, если $s \neq v$, или $C_{\mp v}^{(\mp s)}(x) = 0$, если $s = v$.

Если в силу произвольности полиномов интегриродифференцирования принять равными нулю $\tilde{C}_{\pm s}(x) = 0$, тогда уравнения будут: $d^{\pm s}x : C_{\mp s}(x) = 0$. Данное утверждение теоремы будет равносильно тому, что базовая первообразная дробного порядка s от полинома дифференцирования $C_{\mp s}(x)$ порядка s равна нулю.

Если к нулю приравнять полиномы $C_{\pm s}(x) = 0$, то уравнения будут: $d^{\pm s}x : 0 = \tilde{C}_{\pm s}(x)$.

Данное равенство обобщает на случай комплексных порядков интеграл от нуля в классическом анализе, в соответствии с которым $\int 0 dx = \text{const}$.

Полиномы интегриродифференцирования делают операции интегрирования и дифференцирования неоднозначными для всех порядков за исключением интегриродифференцирования нулевого порядка и дифференцирования целочисленных порядков, включая порядок 1, соответствующий классическому анализу.

В локальном дробном анализе на основе d -оператора производная комплексного порядка s от функции $f(x)$ определяется равенством

$$d^{-s}x : f(x) = f^{(s)}(x) + C_{-s}(x) = F^{(-s)}(x) + C_{-s}(x).$$

Функцию $f^{(s)}(x) \equiv F^{(-s)}(x)$ будем называть *базовой производной* порядка s функции $f(x)$.

Определение. *Базовая производная*, это такая производная, у которой полином дифференцирования равен нулю.

Определение. *Неопределённой производной* порядка s функции $f(x)$ будем называть множество всех производных порядка s функции $f(x)$.

Первообразной комплексного порядка s функции $f(x)$ в локальном дробном анализе на основе d -оператора будем называть сумму

$$d^s x : f(x) = F^{(s)}(x) + C_s(x) = f^{(-s)}(x) + C_s(x).$$

Здесь функция $F^{(s)}(x) \equiv f^{(-s)}(x)$ является *базовой первообразной* порядка s функции $f(x)$.

Определение. *Базовая первообразная* порядка s функции $f(x)$, это такая первообразная, у которой полином интегрирования равен нулю.

Определение. *Неопределённым интегралом* порядка s функции $f(x)$ будем называть множество всех первообразных порядка s функции $f(x)$.

Объединённая формула дробного интегриродифференцирования комплексного порядка s будет

$$d^{\pm s}x : f(x) = f^{(\mp s)}(x) + C_{\pm s}(x) = F^{(\pm s)}(x) + C_{\pm s}(x).$$

Наличие полиномов интегриродифференцирования, в частности, приводит к ряду алгебраических особенностей d -оператора.

Теорема. d -оператор не является коммутативным.

Доказательство. Рассмотрим воздействие операторов $d^{\pm v}x$ и $d^{\pm s}x$ на функцию $f(x)$ в разных порядках

$$d^{\pm v}x : d^{\pm s}x : f(x) = d^{\pm v}x : (f^{(\pm s)}(x) + C_{\pm s}(x)) = f^{(\pm(v+s))}(x) + C_{\pm s}^{(\mp v)}(x) + C_{\pm v}(x).$$

Если подействовать на функцию операторами в обратном порядке, получим

$$d^{\pm s}x : d^{\pm v}x : f(x) = d^{\pm s}x : (f^{(\pm v)}(x) + C_{\pm v}(x)) = f^{(\pm(v+s))}(x) + C_{\pm v}^{(\mp s)}(x) + C_{\pm s}(x).$$

Результаты отличаются, что доказывает теорему ■

Теорема. При воздействии d -оператора на функцию, $f(x)$ композиция $d^{\pm v}x : d^{\pm s}x : f(x) \rightarrow d^{\pm(v+s)}x : f(x)$ и декомпозиция $d^{\pm(v+s)}x : f(x) \rightarrow d^{\pm v}x : d^{\pm s}x : f(x)$ приводят в общем случае к разным результатам.

Доказательство. Покажем это на примере интегриродифференцирования полиномов $C_{\mp s}(x)$

$$d^{\pm v}x : d^{\pm s}x : C_{\mp s}(x) = d^{\pm v}x : (\tilde{C}_{\mp s}(x)) = \tilde{C}_{\mp s}^{(\mp v)}(x) + C_{\pm v}(x).$$

Если подействовать оператором порядка $\pm(v+s)$, то получим

$$d^{\pm(v+s)}x : C_{\mp s}(x) = \tilde{C}_{\mp s}^{(\mp(v+s))}(x) + C_{\pm(v+s)}(x).$$

Результаты интегриродифференцирования в обоих случаях не равны

$$\tilde{C}_{\mp s}^{(\mp v)}(x) + C_{\mp v}(x) \neq \tilde{C}_{\mp s}^{(\mp(v+s))}(x) + C_{\mp(v+s)}(x) \blacksquare$$

Если в d -операторе оставить только первое равенство, отбросив остальные равенства вместе с дополнительными условиями и сохранить только вещественные порядки, то такой оператор будет соответствовать локальному оператору дробного дифференцирования Адамара [1, 15].

Заключение

Рассмотренный d -оператор является минимальным обобщением формул интегриродифференцирования степенных функций классического анализа, для которого выполняется принцип соответствия. Это предполагает, что при его применении для описания процессов в пространствах нецелочисленной размерностью, получаемые решения в частном случае, для порядков интегриродифференцирования равного 1, должны совпадать с решениями, получаемыми в классическом анализе.

С другой стороны, принцип простоты должен приводить к тому, что в рамках дробного анализа на основе d -оператора не должны появляться «не физические» решения и другие математические следствия, не имеющие отношения к рассматриваемому объекту, или их должно быть как можно меньше.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013, проект № 14.В37.21.0861.

Литература.

1. Oldham K.B., Spanier J. The fractional calculus. – New York; London: Academic Press, 1974. – 234 p.
2. Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И. Интегралы и производные дробного порядка. Минск: Наука и техника, 1987. 687 с. (S.G. Samko, A.A. Kilbas, O.I. Marichev, Fractional Integrals and Derivatives Theory and Applications. New York: Gordon and Breach 1993).
3. 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.
4. Нахушев А. М. Дробное исчисление и его применение. – М.: Физматлит, 2003. – 272 с.
5. Учайкин В.В. Метод дробных производных. Ульяновск: Артишок, 2008. – 512 с.
6. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.
7. Летников А.В., Черных В.А. Основы дробного исчисления (с приложениями в теории разработки нефтяных и газовых залежей, подземной гидродинамике и динамике биологических систем. – М.: Нефтегаз, 2011. – 431 с.
8. Чуриков В.А. Локальный d -оператор дифференцирования и интегрирования конечных вещественных порядков для дробного анализа // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318, – № 2. – С. 5–10.
9. Чуриков В.А. Краткое введение в дробный анализ целочисленных порядков. – Томск: Изд-во ТПУ, – 2011. – 72 с.
10. 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.
11. 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 г. Нальчик, 5 – 8 декабря, 2011 г. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, – 2011, – С. 237–239.
12. Чуриков В.А. Производные и интегралы дробных комплексных порядков функций дискретной переменной // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 5. – С. 11–13.
13. Чуриков В.А. Обобщённый G -оператор комплексных порядков вещественной переменной // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 2. – С. 42 – 44.
14. Евграфов М.А. Аналитические функции. - М.: Наука, 1991. – 448 с.
15. Чуриков В.А. Дробный анализ на основе оператора Адамара // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312, – № 2. – С. 16–20.
16. Hadamard J. Essai sur l'étude des fonctions données par leur développement de Taylor. – J. math. pures et appl. Ser. 4. 1892. V. VIII, – p. 101 – 186.
17. Чуриков В.А. Полиномы дифференцирования в локальном дробном анализе на основе d -оператора // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 2. – С. 32 – 36.

**ПРОХОЖДЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ СРЕДЫ
ИМЕЮЩИЕ СТРУКТУРУ ГОМОГЕННЫХ ФРАКТАЛОВ**

В.А. Чуриков, к. ф.-м. н., доцент

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822) 563-593*

E-mail: vachurikov@list.ru

Предположим, что в трёхмерном евклидовом пространстве содержится фрактал x_α , который вдоль оси x имеет дробную размерность α , для которой справедливы неравенства $0 \leq \alpha \leq 1$. Рассматриваемый фрактал предполагается изотропным и гомогенным, т. е. его размерность постоянна $\alpha = \text{const}$ и не зависит как от пространственных координат, так и от времени. Кроме этого, предполагается, что топологические свойства фрактала не зависят от пространства и от времени. Точки фрактала x_α лежат на вещественной оси x . Точки оси x , не принадлежащие фракталу, принадлежат сопряжённому фракталу $x_{1-\alpha}$, размерности $1 - \alpha = \text{const}$, $0 \leq 1 - \alpha \leq 1$, который тоже является гомогенным фракталом. Фрактал x_α , в свою очередь, сам является сопряженным фракталом по отношению к своему сопряжённому фракталу $x_{1-\alpha}$.

На координате x точки фрактала и сопряжённого фрактала находятся в соотношении

$$x_\alpha \cup x_{1-\alpha} = x; \quad x_\alpha \cap x_{1-\alpha} = \emptyset.$$

Второе соотношение будем называть свойством *ортогональности фракталов*, из которого следует, что многие физические процессы, проходящие во фрактале и в сопряжённом фрактале, могут проходить независимо, не влияя друг на друга.

В частности к таким процессам можно отнести взаимодействие электромагнитного излучения с фракталом и с сопряжённым фракталом.

Постановка задачи

Затухание пучка электромагнитного излучения в сплошной среде описывается дифференциальным уравнением, которое описывает поглощение светового пучка в среде, распространяющегося вдоль оси x [1]

$$dI = -kI dx.$$

Здесь I - интенсивность излучения вдоль пространственной координаты x ; k - коэффициент ослабления пучка в среде.

Если сплошная среда состоит из объединения фрактала и сопряжённого фрактала, которые имеют различные физико-химические свойства, то процессы взаимодействия фотонов в них будут отличаться, а соответствующее дифференциальное уравнение описывающее ослабление пучка фотонов можно переписать в виде соотношения

$$dI \propto (-\tau_\alpha k_\alpha I dx_\alpha) \cup (-\tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} I dx_{1-\alpha}). \quad (1)$$

Здесь dx_α и $dx_{1-\alpha}$ - дифференциалы по точкам фрактала x_α , и сопряжённого фрактала $x_{1-\alpha}$ которые лежат на оси x ; k_α - *линейный коэффициент ослабления* во фрактале можно представить в виде суммы $k_\alpha = k_{\alpha A}(\lambda) + k_{\alpha D}(\tau_\alpha) + k_{\alpha S}(\tau_\alpha)$, $k_{\alpha A}(\lambda)$ - *коэффициент поглощения*, который зависит от длины волны фотонов λ и от других факторов, $k_{\alpha D}(\tau_\alpha)$ - *коэффициент внутренней дифракции*, описывающий дифракцию на внутренних структурах фрактала и зависящий от геометрических и топологических особенностей фрактала, т. е. от τ_α , $k_{\alpha S}(\tau_\alpha)$ - *коэффициент внутреннего рассеяния* на неровностях фрактала, который тоже зависит от τ_α ; τ_α - *топологический коэффициент* фрактально-го пространства для рассматриваемого процесса [2], $0 \leq \tau_\alpha \leq 1$; $k_{1-\alpha}$ - линейный коэффициент ослабления в сопряжённом фрактале, который, как и во фрактале удобно представить как сумму $k_{1-\alpha} = k_{1-\alpha A}(\lambda) + k_{1-\alpha D}(\tau_{1-\alpha}) + k_{1-\alpha S}(\tau_{1-\alpha})$; $k_{1-\alpha A}(\lambda)$ - коэффициент поглощения в сопряжённом фрактале, $k_{1-\alpha D}(\tau_{1-\alpha})$ - коэффициент внутренней дифракции в сопряжённом фрактале, $k_{1-\alpha S}(\tau_{1-\alpha})$ - коэффициент внутреннего рассеяния на неровностях сопряжённого фрактала; $\tau_{1-\alpha}$ - топологический коэффициент сопряжённого фрактала, $0 \leq \tau_{1-\alpha} \leq 1$.

Топологические коэффициенты τ_α , и $\tau_{1-\alpha}$ зависят от конкретных топологических и геометрических свойств фрактала и сопряжённого ему фрактала.

В случае, когда рассматриваемый процесс невозможен из-за топологических свойств, то процесс *топологически запрещён*, тогда $\tau_\alpha = \tau_{1-\alpha} = 0$. Рассматриваемый процесс осуществляется только через фракталы, у которых топологические коэффициенты отличны от нуля. Поэтому, если топологический коэффициент хотя бы одного фрактала отличен от нуля, то рассматриваемый процесс *топологически разрешён* в данной среде.

Для коэффициентов внутренней дифракции фрактала и сопряжённого фрактала всегда должно выполняться равенство

$$k_{\alpha|D}(\tau_\alpha) = k_{1-\alpha|D}(\tau_{1-\alpha}).$$

Данное равенство выполняется ввиду того, что фрактал и сопряжённый фрактал имеют общую границу, на которой и происходит внутренняя дифракция. Поэтому в соотношениях, в которых фигурируют эти коэффициенты можно оставить любой из этих двух коэффициентов.

Строго говоря, ставить знак равенства в соотношении (1) нельзя, ввиду того, что физические размерности левой и правой части в уравнении при такой замене уже не совпадают

$$[dx_\alpha] = L^\alpha; [dx_{1-\alpha}] = L^{1-\alpha}; [dx] = L.$$

Кроме этого нельзя складывать значения слагаемых в правой части по той же причине. Поэтому вместо знака равенства поставлен знак пропорциональности \propto , а вместо сложения, знак объединения \cup .

Для дифференциалов на фракталах будет справедливо

$$dx = dx_\alpha \cup dx_{1-\alpha}.$$

В силу ортогональности фрактала и сопряжённого фрактала для дифференциалов тоже будет справедливо свойство ортогональности

$$dx_\alpha \cap dx_{1-\alpha} = \emptyset.$$

Получение решения

Вначале, для получения решения разделим переменные и поставим под знак интеграла.

$$\int \frac{dI}{I} \propto (-\tau_\alpha k_\alpha \int dx_\alpha) \cup (-\tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} \int dx_{1-\alpha}). \quad (1)$$

Преобразуем правую часть так, чтобы оба члена были согласованы между собой качественно и количественно, а также были бы согласованы с левой частью.

Для этого правую часть необходимо привести к одному масштабу и к одной физической размерности с левой частью. Для этого первый член в правой части надо умножить на *коэффициент преобразования размерности* $x^{1-\alpha}$, а второй на *коэффициент преобразования размерности* x^α , который переводит размерность правой части до размерности евклидова пространства, в котором находятся фрактал и сопряжённый фрактал. Физически это соответствует тому, что учитывается прохождение пучка фотонов по всем точкам на оси x , часть из которых принадлежит фракталу, а остальные – по сопряжённому фракталу.

Далее первый член в правой части необходимо умножить на *масштабный коэффициент фрактала* $\alpha^2 \Gamma(\alpha)$, а второй член на масштабный коэффициент сопряжённого фрактала $(1-\alpha)^2 \Gamma(1-\alpha)$. Эти коэффициенты переводят длину прохождения пучка к *эффективной толщине фрактала* и к *эффективной толщине сопряжённого фрактала* $(1-\alpha)x$ которые в одномерном случае составляют соответственно αx и $(1-\alpha)x$.

В результате, переход от интегрирования по фракталу размерности α к интегралу дробного порядка α на основе d -оператора сводится к замене

$$\int dx_\alpha \rightarrow \alpha^2 \Gamma(\alpha) x^{1-\alpha} \int d^\alpha x;$$

$$\int dx_{1-\alpha} \rightarrow (1-\alpha)^2 \Gamma(1-\alpha) x^\alpha \int d^{1-\alpha} x.$$

Здесь $\int d^\alpha x$ и $\int d^{1-\alpha} x$ - интегралы дробных порядков α и $\alpha-1$; $\Gamma(\dots)$ - гамма-функция Эйлера.

После проведённых преобразований оба члена в правой части можно сложить и приравнять их сумму с левой частью и в результате получим уравнение в котором переменные разделены

$$\int \frac{dI}{I} = -\tau_\alpha k_\alpha \alpha^2 \Gamma(\alpha) x^{1-\alpha} \int d^\alpha x - \tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha)^2 \Gamma(1-\alpha) x^\alpha \int d^{1-\alpha} x.$$

Интегрируя левую часть, получим

$$\int \frac{dI}{I} = \ln(I) - \ln(C).$$

Здесь C – константа интегрирования.

Интегрируя правую часть с помощью d -оператора [3], получим для первого слагаемого

$$-\tau_\alpha k_\alpha \alpha^2 \Gamma(\alpha) x^{1-\alpha} \int d^\alpha x = -\frac{\tau_\alpha k_\alpha \alpha^2 \Gamma(\alpha) x^{1-\alpha}}{\alpha \Gamma(\alpha)} x^\alpha + \alpha^2 \Gamma(\alpha) x^{1-\alpha} C_\alpha(x).$$

Интегрируя второе слагаемое, получим

$$\begin{aligned} & -\tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha)^2 \Gamma(1-\alpha) x^\alpha \int d^\alpha x = \\ & = -\frac{\tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha)^2 \Gamma(1-\alpha) x^{1-\alpha}}{(1-\alpha) \Gamma(1-\alpha)} x^\alpha + (1-\alpha)^2 \Gamma(1-\alpha) x^\alpha C_{1-\alpha}(x). \end{aligned}$$

Здесь $C_\alpha(x)$ и $C_{1-\alpha}(x)$ – полиномы интегрирования порядков α и $1-\alpha$, которые в рамках d -анализа являются обобщением констант интегрирования [3].

Приравняем к нулю вторые слагаемые, ввиду их произвольности

$$\alpha^2 \Gamma(\alpha) x^{1-\alpha} C_\alpha(x) = 0;$$

$$(1-\alpha)^2 \Gamma(1-\alpha) x^\alpha C_{1-\alpha}(x) = 0.$$

Окончательно получим для суммы в правой части

$$-\tau_\alpha k_\alpha \alpha^2 \Gamma(\alpha) x^{1-\alpha} \int d^\alpha x = -\tau_\alpha k_\alpha \alpha x;$$

$$-\tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha)^2 \Gamma(1-\alpha) x^\alpha \int d^\alpha x = -\tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha) x.$$

Приравняв обе части, получим решение

$$\ln(I) = -\tau_\alpha k_\alpha \alpha x - \tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha) x + \ln(C).$$

Потенцируя это выражение, получим общее решение в явном виде

$$I = C \exp(-\{\tau_\alpha k_\alpha \alpha + \tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha)\} x).$$

Найдём частное решение для задачи Коши с начальными условиями x_0 и $I_0 = I(x_0)$. Выразив константу интегрирования через начальные условия, получим: $C = \exp(-\{\tau_\alpha k_\alpha \alpha + \tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha)\} x_0 + \ln(I_0))$. Подставив значение C в общее решение, найдём частное решение для заданных начальных условий, которое является обобщением закона БЛБ на случай распространения светового пучка в рассматриваемой среде, которая является объединением фрактала и сопряжённого фрактала

$$I = I_0 \exp[-\{\tau_\alpha k_\alpha \alpha + \tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha)\} (x - x_0)]. \quad (2)$$

Здесь $x - x_0 \geq 0$ – толщина среды, через которую проходит пучок фотонов, а $\alpha(x - x_0)$ – эффективная толщина фрактала, а $(1-\alpha)(x - x_0)$ – эффективная толщина сопряжённого фрактала, для которых всегда выполняется равенство

$$(x - x_0) = \alpha(x - x_0) + (1-\alpha)(x - x_0).$$

В частности, когда $\alpha = 1$, (или $\alpha = 0$), тогда эффективная толщина фрактала (или сопряжённого фрактала) становится равным нулю и топологический коэффициент будет $\tau_\alpha = 1$ (или $\tau_{1-\alpha} = 1$), что соответствует отсутствию фрактала (или сопряжённого фрактала). В этих предельных случаях среда становится сплошной и соотношение (2) переходит в классический закон БЛБ, $I = I_0 \exp[-k(x - x_0)]$ [1].

В случае, когда $\tau_\alpha k_\alpha \alpha \gg \tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha)$ или $\tau_\alpha k_\alpha \alpha \ll \tau_{1-\alpha} k_{1-\alpha} (1-\alpha)$, то ослаблением пучка можно пренебречь в сопряжённом фрактале, или во фрактале. Тогда соотношение перейдёт в закон БЛБ для одного однородного фрактала. Такое приближение называется *приближением одного потока* [4].

Предположим, что фрактал состоит из атомов одного элемента, а сопряжённый фрактал их из атомов другого элемента. Будем считать, что через среду проходит пучок жёсткого рентгеновского излучения с длиной волны менее одного ангстрема. В этом случае можно пренебречь внутренней дифракцией. Тогда коэффициенты ослабления для прохождения рентгеновского излучения через фрактал и сопряжённый фрактал будут [5]

$$k_{\alpha} = k_{\alpha|A}(\lambda) + k_{\alpha|S}(\tau) \approx \frac{\eta_{\alpha} N_A}{A_{\alpha}} \left(B_{\alpha} Z_{\alpha}^4 \lambda^3 + \frac{8\pi e^4 Z_{\alpha}}{3m^2 c^4} \right),$$

$$k_{1-\alpha} = k_{1-\alpha|A}(\lambda) + k_{1-\alpha|S}(\tau) \approx \frac{\eta_{1-\alpha} N_A}{A_{1-\alpha}} \left(B_{1-\alpha} Z_{1-\alpha}^4 \lambda^3 + \frac{8\pi e^4 Z_{1-\alpha}}{3m^2 c^4} \right).$$

Здесь $k_{\alpha|A}(\lambda)$ и $k_{1-\alpha|A}(\lambda)$ коэффициенты поглощения связанные с взаимодействием рентгеновского излучения и внутренних электронов оболочек атомов фрактала и сопряжённого фрактала (внутренний фотоэффект); $k_{\alpha|S}(\tau)$ и $k_{1-\alpha|S}(\tau)$ коэффициенты рассеяния для материала фрактала и сопряжённого фрактала; B_{α} и $B_{1-\alpha}$ полуэмпирические коэффициенты, зависящие от длины волны фотонов и от атомной структуры вещества фрактала и сопряжённого фрактала [3]; Z_{α} и $Z_{1-\alpha}$ заряды ядер элементов из которых состоит фрактал и сопряжённый фрактал; η_{α} и $\eta_{1-\alpha}$ плотности материала фрактала и сопряжённого фрактала; N_A - число Авогадро; A_{α} и $A_{1-\alpha}$ веса одного грамм-атома (атомный вес) вещества фрактала и сопряжённого фрактала; e - заряд электрона; m - масса электрона; c - скорость света.

Подставив полученные выражения для коэффициентов k_{α} и $k_{1-\alpha}$ в (2) и получим закон БЛБ описывающий прохождение жёсткого рентгеновского излучения через среду, состоящую из двух гомогенных и ортогональных фракталов

$$I = I_0 \exp \left[- \left\{ \tau_{\alpha} \alpha \left(\frac{\eta_{\alpha} N_A}{A_{\alpha}} \left(B_{\alpha} Z_{\alpha}^4 \lambda^3 + \frac{8\pi e^4 Z_{\alpha}}{3m^2 c^4} \right) \right) + \tau_{1-\alpha} (1-\alpha) \frac{\eta_{1-\alpha} N_A}{A_{1-\alpha}} \left(B_{1-\alpha} Z_{1-\alpha}^4 \lambda^3 + \frac{8\pi e^4 Z_{1-\alpha}}{3m^2 c^4} \right) \right\} (x - x_0) \right].$$

Для рассматриваемой задачи с большой точностью можно принять $\tau_{1-\alpha} = \tau_{1-\alpha} = 1$.

Литература.

1. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика. 2-е изд. М.: Из-во МГУ; Наука, 2004. 656 с.
2. Чуриков В.А. Замечания по поводу дробной размерности при описании процессов во фракталах // Математика и математическое моделирование: Сборник материалов VII всероссийской молодежной научно-инновационной школы (г. Саров, СарФТИ НИЯУ МИФИ, 16 – 19 апреля 2013 г.) – Саров: СарФТИ НИЯУ МИФИ, – 2013, – С. 59.
3. Чуриков В.А. Краткое введение в дробный анализ целочисленных порядков. – Томск: Изд-во ТПУ, - 2011. – 72 с.
4. Чуриков В.А. Замечания о методе разделения потоков без обмена при описании физических процессов на фракталах // Математика и математическое моделирование: Сборник материалов VII всероссийской молодежной научно-инновационной школы (г. Саров, СарФТИ НИЯУ МИФИ, 16 – 19 апреля 2013 г.) – Саров: СарФТИ НИЯУ МИФИ, – 2013, – С. 54–55.
5. Блохин М. А. Физика рентгеновских лучей.— М.: ГИТТЛ. 1957.— 518 с.

ЗАКОН ОМА И ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ СО СТРУКТУРОЙ ГОМОГЕННЫХ ФРАКТАЛОВ

В.А. Чуриков, к. ф.-м. н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822) 563-593

E-mail: vachurikov@list.ru

В последнее время широко рассматриваются различные физические свойства материалов, которые имеют дробную, как правило, нецелочисленную размерность, которые были названы фракталами [1].

Сопротивление проводников с фрактальной структурой

Рассмотрим активное сопротивление электрического тока в проводнике с фрактальной структурой. В случае, когда фрактал анизотропный и имеет фрактальную (дробную) размерность вдоль трёх координат, $0 \leq \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \leq 1$ и предполагается, что фрактальные размерности вещественны и постоянны $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 = \text{const}$. Фрактальная размерность вдоль распространения тока α_1 , а размерно-

сти перпендикулярные току будут α_2, α_3 , тогда анизотропное сопротивление $R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}$ можно выразить

$$R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} = \frac{\tau l_{\alpha_1} \rho}{S_{\alpha_2, \alpha_3}} = \frac{\tau(1 + \varphi(\alpha_1))l\rho}{\alpha_2 \alpha_3 S}.$$

Здесь $l_{\alpha_1} = (1 + \varphi(\alpha_1))l$ - эффективная длина проводника во фрактале, которая зависит от фрактальной размерности проводника вдоль распространения тока; l - длина проводника, $l_{\alpha_1} \geq l$; $\varphi(\alpha_1)$ - некоторая функция, зависящая от размерности фрактала, и его топологических свойств. Функция $\varphi(\alpha_1)$ неотрицательна, $\varphi(\alpha_1) \geq 0$; $S_{\alpha_2, \alpha_3} = \alpha_2 \alpha_3 S$ - эффективная площадь сечения фрактального проводника; S - общая площадь проводника, $S_{\alpha_2, \alpha_3} < S$; ρ - удельное электрическое сопротивление проводящего вещества фрактала; τ - топологический коэффициент [2], который $\tau > 0$, если процесс может идти, и $\tau = 0$, если процесс невозможен.

Например, если фрактальный проводник не связный и состоит из мелкодисперсных несвязных проводников окружённых диэлектриком, то электропроводность в нём невозможна, тогда $\tau = 0$. Для связных проводников $\tau > 0$. Если проводник не является фрактальным, тогда все его размерности будут равны единице, т. е. $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$, а для коэффициента τ будет всегда справедливо $\tau = 1$.

Для фрактальных тел величины l_{α_1} и τ могут быть вычислены только исходя из геометрических и топологических свойств рассматриваемых фракталов.

Рассмотрим для примера эффективные площади сечения фрактального проводника для некоторых конкретных сечений проводников.

Для проводника эллиптического сечения с полуосями a и b для анизотропного случая будет

$$S_{\alpha_2, \alpha_3} = \pi \alpha_2 \alpha_3 ab,$$

и для изотропного случая, когда $\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$

$$S_{\alpha} = \pi \alpha^2 ab.$$

Если сечение круглого проводника радиуса R , то эффективная площадь для анизотропного случая будет

$$S_{\alpha_2, \alpha_3} = \pi \alpha_2 \alpha_3 R^2,$$

и в изотропном случае

$$S_{\alpha} = \pi \alpha^2 R^2.$$

Когда проводник прямоугольного сечения со сторонами A и B , то эффективная площадь для анизотропного случая будет

$$S_{\alpha_2, \alpha_3} = \alpha_2 \alpha_3 AB,$$

а для изотропного случая

$$S_{\alpha} = \alpha^2 AB.$$

В случае проводника квадратного сечения со стороной A , эффективная площадь для анизотропного случая будет

$$S_{\alpha_2, \alpha_3} = \alpha_2 \alpha_3 A^2,$$

и когда сечение изотропно

$$S_{\alpha} = \alpha^2 A^2.$$

Проводимость вдоль оси x для анизотропного проводника будет

$$\lambda_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} = \frac{E}{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}} = \frac{S_{\alpha_2, \alpha_3}}{\tau l_{\alpha_1} \rho} = \frac{\alpha_2 \alpha_3 S}{\tau l(1 + \varphi(\alpha_1))\rho}.$$

Для изотропного фрактала, когда $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$ сопротивление R_{α} будет

$$R_{\alpha} = \frac{\tau l(1 + \varphi(\alpha))\rho}{\alpha^2 S}.$$

В частном случае, когда $\alpha = 1$, тогда всегда будет $\varphi(\alpha) = 0$ и $\tau = 1$, а в результате получим известное выражение для сопротивления сплошного проводника $R = \rho l / S$ [3].

Закон Ома для проводников с фрактальной структурой

Используя полученное сопротивление легко записать закон Ома в дифференциальной форме для анизотропного фрактального проводника

$$j = \frac{E}{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}} = \lambda_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} E = \frac{S_{\alpha_2, \alpha_3}}{\tau l_{\alpha_1} \rho} E = \frac{\alpha_2 \alpha_3 S}{\tau(1 + \varphi(\alpha_1)) l \rho} E.$$

Закон Ома в дифференциальной форме для изотропного случая будет

$$j = \frac{E}{R_{\alpha}} = \lambda_{\alpha} E = \frac{S_{\alpha}}{\tau l_{\alpha} \rho} E = \frac{\alpha^2 S}{\tau(1 + \varphi(\alpha)) l \rho} E.$$

Здесь j – плотность тока в проводнике; E – напряжённость электрического поля.

Случай, когда $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta = 1$ и $\tau=1$, соответствует традиционному закону Ома $j = E/R$ [3].

Комплексное сопротивление (импеданс) для контура с активным фрактальным сопротивлением для синусоидального тока для анизотропного случая

$$Z_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} = R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} + iX = R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} + i \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right).$$

Здесь ω – частота; $X = \omega L - 1/\omega C$ – реактивное сопротивление, где L – индуктивность и C – ёмкость, которые не являются фрактальными.

Закон Ома для переменных синусоидальных токов будет

$$j = \frac{E}{|Z_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}|} = \frac{1}{\sqrt{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} E_0 \sin(\omega t - \varphi).$$

Здесь E_0 – амплитуда изменения электрического поля, φ – сдвиг фазы, который определяет коэффициент мощности, $\cos(\varphi)$

$$\cos(\varphi) = \frac{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}}{|Z|} = \frac{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}}{\sqrt{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}.$$

Сдвиг фазы можно выразить и другим способом

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{X}{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}} = \frac{1}{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}} \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right).$$

Закон Джоуля - Ленца для проводников с фрактальной структурой

Используя полученное сопротивление легко записать закон Джоуля - Ленца для постоянного тока в дифференциальной форме для анизотропного фрактального проводника

$$Q = jE = \frac{E^2}{R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}} = \lambda_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} E^2 = \frac{S_{\alpha_2, \alpha_3}}{\tau l_{\alpha_1} \rho} E^2 = \frac{\alpha_2 \alpha_3 S}{\tau(1 + \varphi(\alpha_1)) l \rho} E^2.$$

Здесь Q – теплота выделяемая проводником за единицу времени, когда по нему протекает ток.

В случае изотропного сопротивления, когда $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$, закон Джоуля – Ленца будет

$$Q = \frac{E^2}{R_{\alpha}} = \lambda_{\alpha} E^2 = \frac{S_{\alpha}}{\tau l_{\alpha} \rho} E^2 = \frac{\alpha^2 S}{\tau(1 + \varphi(\alpha)) l \rho} E^2.$$

В частном случае, когда $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta = 1$ и $\tau=1$, получим традиционному закону Джоуля - Ленца $Q = E^2/R$ [3].

Если переменное синусоидальное напряжение приложено к двухполюснику с импедансом $Z_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} = R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} + iX$, то проходящий ток будет меняться по тому же закону, но со сдвигом фазы φ [3]

$$E = E_0 \cos(\omega t); \quad j_0 = j_0 \cos(\omega t - \varphi).$$

Здесь j_0 – амплитуда изменения электрического тока.

Тогда закон Джоуля - Ленца в дифференциальной форме для переменного синусоидального напряжения и тока и анизотропного фрактального проводника будет

$$Q = \bar{j}\bar{E} \cos(\varphi) = \frac{j_0 E_0}{2} \cos(\varphi) = \frac{E_0^2}{2R_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}} \cos(\varphi) = \frac{\alpha_2 \alpha_3 S E_0^2}{2\tau(1 + \varphi(\alpha_1))l\rho} \cos(\varphi).$$

Здесь $\bar{E} = E_0/\sqrt{2}$ - среднее (действующее) значение переменного синусоидального напряжения; $\bar{j} = j_0/\sqrt{2}$ - среднее (действующее) значение переменного синусоидального тока.

В частном случае, когда $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta = 1$ и $\tau=1$, соответствует традиционному закону Джоуля - Ленца для переменного тока $Q = j_0 E_0 / 2$ [3].

Литература.

1. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. 528 с.
2. Чуриков В.А. Замечания по поводу дробной размерности при описании процессов во фракталах // Сборник материалов VII всероссийской молодежной научно-инновационной школы «Математика и математическое моделирование», г. Саров, СарФТИ НИЯУ МИФИ, 16 – 19 апреля 2013. Саров: СарФТИ НИЯУ МИФИ. 2013. С. 59.
3. Калашников С. Г. Электричество: Учебн. Пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 624 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТОХАСТИЧЕСКОГО ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАТРИЦ

К.А. Батенков, к. т. н.

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

302034, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35

E-mail: pustur@yandex.ru

Известно, что средние потери информации определяются вероятностными мерами, входящих в процесс передачи по каналу связи преобразований и источника, по которым подразумевается выход кодера канала [1, 2]. Соответственно исходя из детерминированности операторов модуляции и демодуляции общий вид функции правдоподобия дискретного канала $\omega_{x'/x}$, включающего в себя данные операторы, несколько видоизменится, а варьируемыми переменными соответственно станут не условные плотности, а базисные функции модуляции и демодуляции [3, 4].

Функция правдоподобия дискретного канала связи определяется на основе уравнения Колмогорова-Чепмена и, по сути, является композицией условных плотностей модулятора $\omega_{x/x}$, демодулятора $\omega_{x'/x'}$ и непрерывного канала $\omega_{x'/x}$. Поскольку операторы являются детерминированными, то их условные плотности представимы в виде некоторых дельта-функций. Существует определённая сложность, связанная с тем, что выходные сигналы модулятора и входные демодулятора имеют непрерывный характер. Однако рассмотрение неограниченного числа сечений подобных процессов в пределе позволяет теоретически получить полную их характеристику [5]. В итоге осуществив предельный переход от аналогового вида выражений к дискретным оказывается возможным исследование сигналов в различных точках дискретного канала связи как случайные процессы с соответствующими плотностями вероятности, а его функциональные узлы – как стохастические системы, описываемые условными плотностями выходных сигналов от входных.

Под сечениями процесса в классической теории случайных процессов подразумевают случайные величины, соответствующие значениям случайного процесса в некоторый момент времени [5]. В результате случайный процесс сопоставляется некоторому стохастическому вектору, характеристики которого полностью согласуются с исходным процессом в случае бесконечномерности вектора. Однако для подобных разложений затруднительно исследовать энергетические (мощностные) параметры случайных процессов, поскольку их координатными функциями являются дельта-функции, в обычном понимании имеющие бесконечную энергию и определяемые лишь на основе некоторых функционалов [6], поскольку вообще корректное определение подобных функций в рамках классической теории функции не существует. В связи с этим более разумно сопоставлять случайный процесс некоторому вектору путём разложения по некоторым координатным функциям, энергия которых принимает конечную величину. Следует учесть, что только полная система функций позволяет считать погрешность аппроксимации при бесконечном числе коэффициентов разложения нулевой [7]. Однако подобное обстоятельство не является критическим, так как выбор базиса разложений

произволен и при определенных условиях можно ограничиться применением лишь полных систем координатных функций.

Таким образом, определение системы координатных функций как бесконечномерной вектор-функции $\boldsymbol{\psi}(t, \mathbf{r}) = [\psi_1(t, \mathbf{r}), \psi_2(t, \mathbf{r}), \dots, \psi_\infty(t, \mathbf{r})]^T$ позволяет представить сигнал на выходе модулятора и базисные функции модулятора в виде обобщенного ряда Фурье:

$$x(t, \mathbf{r}) = \bar{\mathbf{x}}^T \boldsymbol{\psi}(t, \mathbf{r}), \quad (1)$$

$$\varphi_{k_1, \dots, k_i}(t, \mathbf{r}) = \boldsymbol{\Phi}_{k_1, \dots, k_i}^T \boldsymbol{\psi}(t, \mathbf{r}), \quad i = \overline{1, N_a}, \quad (2)$$

где $\bar{\mathbf{x}} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_\infty)^T$ – бесконечномерный вектор коэффициентов разложения входного сигнала $x(t, \mathbf{r})$ в базисе функций $\boldsymbol{\psi}(t, \mathbf{r})$; $i = \overline{1, N_a}$ – бесконечномерный вектор коэффициентов разложения базисных функций модулятора $\varphi_{k_1, \dots, k_i}(t, \mathbf{r})$ в базисе функций $\bar{\mathbf{x}}' = \bar{\mathbf{y}}'$.

Коэффициенты разложения вычисляются как скалярные произведения координатных функций и исходных колебаний:

$$\bar{\mathbf{x}} = \int \int_{t, \mathbf{r}} x(t, \mathbf{r}) \boldsymbol{\psi}(t, \mathbf{r}) d\mathbf{r} dt, \quad (3)$$

$$\boldsymbol{\Phi}_{k_1, \dots, k_i} = \int \int_{t, \mathbf{r}} \varphi_{k_1, \dots, k_i}(t, \mathbf{r}) \boldsymbol{\psi}(t, \mathbf{r}) d\mathbf{r} dt, \quad i = \overline{1, N_a}.$$

Тогда использование (1) и (2) преобразует операцию нелинейной модуляции в векторную форму:

$$\bar{\mathbf{x}} = \sum_{i=1}^{N_a} \left[\sum_{k_1=1}^N \sum_{k_2=k_1}^N \dots \sum_{k_i=k_{i-1}}^N \left\{ \prod_{j=1}^i x_{k_j} \right\} \boldsymbol{\Phi}_{k_1, \dots, k_i} \right].$$

Коэффициенты разложения базисных функций модуляции целесообразно представить в виде $(i+1)$ -мерной матрицы переменного порядка $\boldsymbol{\Phi}_i = \left\{ \varphi_{k_1, \dots, k_i, j} \right\}_{k_1, \dots, k_i = \overline{1, N}, j = \overline{1, \infty}}$, у которой только элементы с неубывающими индексами, за исключением последнего, могут быть отличны от нуля, то есть $\varphi_{k_1, \dots, k_i, j} = 0 \mid \exists k_l < k_{l'}, l < l', l, l' = \overline{1, i}$. Соответственно размер (порядок) матрицы $\boldsymbol{\Phi}_i = \underbrace{N \times \dots \times N}_i \times \infty$.

Произведение подобной матрицы $\boldsymbol{\Phi}_i$ на вектор \mathbf{x} по определенному индексу k_l имеет вид [8]:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\Phi}_i \{l\} \mathbf{x} &= \left\{ \sum_{k_l=k_{l-1}}^N x_{k_l} \varphi_{k_1, \dots, k_l, \dots, k_i, j} \right\}_{k_1, \dots, k_{l-1}, k_{l+1}, \dots, k_i = \overline{1, N}, j = \overline{1, \infty}} = \\ &= \left\{ \sum_{k_l=1}^N x_{k_l} \varphi_{k_1, \dots, k_l, \dots, k_i, j} \right\}_{k_1, \dots, k_{l-1}, k_{l+1}, \dots, k_i = \overline{1, N}, j = \overline{1, \infty}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Несложно видеть, что результатом данной операции является также матрица $\boldsymbol{\Phi}_i \{l\} \mathbf{x}$, размерность которой на единицу меньше исходной. Число же l в фигурной скобке операции умножения (4), по сути, указывает на номер индекса матрицы $\boldsymbol{\Phi}_i$, по которому производится умножение. Последующее перемножение полученной i -мерной матрицы на тот же самый вектор \mathbf{x} снижает размерность еще на единицу:

$$[\boldsymbol{\Phi}_i \{l\} \mathbf{x}] \{l'\} \mathbf{x} = \left\{ \sum_{k_{l'}=1}^N \sum_{k_l=1}^N x_{k_l} x_{k_{l'}} \varphi_{k_1, \dots, k_{l'}, \dots, k_l, \dots, k_i, j} \right\}_{k_1, \dots, k_{l'-1}, k_{l'+1}, \dots, k_{l-1}, k_{l+1}, \dots, k_i = \overline{1, N}, j = \overline{1, \infty}}.$$

Поскольку данная процедура является линейной и не зависит от порядка суммирования, то и порядок следования векторов в произведении также не влияет на результат операции. Следовательно можно ввести обозначение:

$$[\boldsymbol{\Phi}_i \{l\} \mathbf{x}] \{l'\} \mathbf{x} = [\boldsymbol{\Phi}_i \{l'\} \mathbf{x}] \{l\} \mathbf{x} = \boldsymbol{\Phi}_i \{l, l'\} \mathbf{x}. \quad (5)$$

В итоге подобной итеративной процедуры после i этапов матрица вырождается в вектор. Таким образом, формула нелинейной модуляции приобретает форму:

$$\bar{\mathbf{x}} = \sum_{i=1}^{N_a} \Phi_i \{1, \dots, i\} \mathbf{x}. \quad (6)$$

Аналогично и стохастический сигнал на входе демодулятора целесообразно сопоставить с бесконечномерным вектором. Выбор той же самой системы координатных функций $\Psi(t', \mathbf{r}')$ позволяет представить сигнал на входе демодулятора в виде обобщенного ряда Фурье:

$$x'(t', \mathbf{r}') = \bar{\mathbf{x}}^T \Psi(t', \mathbf{r}'), \quad (7)$$

где $\bar{\mathbf{x}}' = (\bar{x}'_1, \bar{x}'_2, \dots, \bar{x}'_\infty)^T$ – бесконечномерный вектор коэффициентов разложения входного сигнала $x'(t', \mathbf{r}')$ в базисе функций $\Psi(t', \mathbf{r}')$, элементы которого вычисляются как скалярное произведение:

$$\bar{\mathbf{x}}' = \iint_{t' \mathbf{r}'} x'(t', \mathbf{r}') \Psi(t', \mathbf{r}') d\mathbf{r}' dt'. \quad (8)$$

Базисные же функции демодуляции имеют функциональную зависимость от нескольких переменных времени и пространственных координат, что предполагает более сложный вид разложения:

$$\Phi'_{i,k}(t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i) = \sum_{k_1=1}^{\infty} \dots \sum_{k_i=1}^{\infty} \Phi'_{i,k,k_1, \dots, k_i} \prod_{j=1}^i \Psi_{k_j}(t'_j, \mathbf{r}'_j), \quad i = \overline{1, N_b}, \quad k = \overline{1, N'}, \quad (9)$$

где $\Phi'_{i,k,k_1, \dots, k_i}$ – коэффициенты разложения базисных функций демодулятора $\Phi'_{i,k}(t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i)$ в базисе функций $\Psi(t', \mathbf{r}')$, определяемые в виде:

$$\Phi'_{i,k,k_1, \dots, k_i} = \int \dots \int_{t'_1 \mathbf{r}'_1} \dots \int_{t'_i \mathbf{r}'_i} \left\{ \prod_{j=1}^i \Psi_{k_j}(t'_j, \mathbf{r}'_j) \right\} \Phi'_{i,k}(t'_1, \dots, t'_i, \mathbf{r}'_1, \dots, \mathbf{r}'_i) dt'_1 \dots dt'_i d\mathbf{r}'_1 \dots d\mathbf{r}'_i.$$

Использование (7) и (9) с последующим применением условия ортонормированности базиса $\Psi(t', \mathbf{r}')$ и свойства симметричности базисных функций демодуляции преобразует операцию нелинейной демодуляции к виду:

$$x'_k = \sum_{i=1}^{N_b} \left[\sum_{k_1=1}^{\infty} \sum_{k_2=k_1}^{\infty} \dots \sum_{k_i=k_{i-1}}^{\infty} \left\{ \prod_{j=1}^i \bar{x}'_{k_j} \right\} \Phi'_{i,k,k_1, \dots, k_i} \right].$$

Коэффициенты разложения базисных функций демодуляции также целесообразно представить в виде $(i+1)$ -мерной матрицы переменного порядка $\Phi'_i = \{\Phi'_{i,k,k_1, \dots, k_i}\}_{k=\overline{1, N'}, k_1, \dots, k_i=\overline{1, \infty}}$, у которой только элементы с неубывающими индексами, за исключением первого, могут быть отличны от нуля, то есть $\Phi'_{i,k,k_1, \dots, k_i} = 0 \mid \exists k_l < k_{l'}, l < l', l, l' = \overline{1, i}$. Соответственно размер (порядок) матрицы Φ'_i – $N' \times \underbrace{\infty \times \dots \times \infty}_i$. Использование операций произведения многомерной матрицы на вектор [8] позволяет аналогично (5)–(7) получить выражение для нелинейной демодуляции в форме суммы i -кратного произведения:

$$\mathbf{x}' = \sum_{i=1}^{N_b} \Phi'_i \{2, \dots, i+1\} \bar{\mathbf{x}}'. \quad (10)$$

Поскольку рассматриваемые операторы модуляции и демодуляции имеют детерминированный вид (6) и (10), то соответствующие им условные плотности обладают дельтаобразной формой:

$$\omega_{\mathbf{x}/\bar{\mathbf{x}}}(\bar{\mathbf{x}}, \mathbf{x}) = \delta \left(\bar{\mathbf{x}} - \sum_{i=1}^{N_a} \Phi_i \{1, \dots, i\} \mathbf{x} \right), \quad (11)$$

$$\omega_{\mathbf{x}'/\bar{\mathbf{x}}'}(\bar{\mathbf{x}}', \mathbf{x}') = \delta \left(\mathbf{x}' - \sum_{i=1}^{N_b} \Phi'_i \{2, \dots, i+1\} \bar{\mathbf{x}}' \right),$$

где $\delta(\mathbf{x})$ – дельта-функция многомерного аргумента \mathbf{x} .

Использование фильтрующего свойства дельта-функции позволяет получить следующий вид функции правдоподобия дискретного канала связи:

$$\omega_{x'/x}(\mathbf{x}', \mathbf{x}) = \int \omega_{x'/x} \left[\bar{\mathbf{x}}', \sum_{i=1}^{N_a} \Phi_i \{1, \dots, i\} \mathbf{x} \right] \cdot \delta \left[\mathbf{x}' - \sum_{j=1}^{N_b} \Phi'_j \{2, \dots, j+1\} \bar{\mathbf{x}}' \right] d\bar{\mathbf{x}}'. \quad (12)$$

Дальнейшее же упрощение функции правдоподобия путём применения фильтрующего свойства дельта-функции достаточно проблематично, поскольку размерность сигнала на выходе демодулятора \mathbf{x}' конечна, а на входе $\bar{\mathbf{x}}'$ бесконечна. Кроме того, при условии, что отсутствует взаимно-однозначная связь между данными векторами на основе (10), потребуются разбиение многомерной области интегрирования в (12) на части, для каждой из которой существует однозначная обратная функция [9]. В результате функция правдоподобия разделяется на несколько слагаемых, соответствующих всем возможным значениям обратных функций.

Следствием данного обстоятельства является возможная потеря информации о сигнале на входе демодулятора $\bar{\mathbf{x}}'$ при наблюдении выходного сигнала \mathbf{x}' , дополнительно к потерям, обусловленным стохастичностью непрерывного канала связи $\omega_{x'/x}$. Так, если взаимно-однозначная зависимость отсутствует, то заданному сигналу на выходе демодулятора \mathbf{x}' соответствует некоторый диапазон сигналов на входе $\bar{\mathbf{x}}'$ [10]. Значит, невозможно точно указать, какой именно сигнал на входе демодулятора $\bar{\mathbf{x}}'$ породил сигнал на выходе \mathbf{x}' . В данном случае требуется дополнительная информация, которая совместно с сигналом на выходе демодулятора \mathbf{x}' , позволяет точно идентифицировать сигнал на входе $\bar{\mathbf{x}}'$.

Знание функции правдоподобия $\omega_{x'/x}$ (12) и распределения сигнала на входе модулятора ω_x делает возможным на основе правила умножения вероятностей определить совместную плотность вероятности $\omega_{x, x'}$:

$$\omega_{x, x'}(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = \omega_x(\mathbf{x}) \int \omega_{x'/x} \left[\bar{\mathbf{x}}', \sum_{i=1}^{N_a} \Phi_i \{1, \dots, i\} \mathbf{x} \right] \cdot \delta \left[\mathbf{x}' - \sum_{j=1}^{N_b} \Phi'_j \{2, \dots, j+1\} \bar{\mathbf{x}}' \right] d\bar{\mathbf{x}}', \quad (13)$$

которая в свою очередь, согласно формуле полной вероятности, определяет плотность вероятности сигнала на выходе демодулятора $\omega_{x'}$:

$$\omega_{x'}(\mathbf{x}') = \iint \omega_x(\mathbf{x}) \omega_{x'/x} \left[\bar{\mathbf{x}}', \sum_{i=1}^{N_a} \Phi_i \{1, \dots, i\} \mathbf{x} \right] d\mathbf{x} \cdot \delta \left[\mathbf{x}' - \sum_{j=1}^{N_b} \Phi'_j \{2, \dots, j+1\} \bar{\mathbf{x}}' \right] d\bar{\mathbf{x}}', \quad (14)$$

а путем замены переменных в (14) $\mathbf{x} = \mathbf{y}$ и $\bar{\mathbf{x}}' = \bar{\mathbf{y}}'$, задает апостериорную плотность вероятности $\omega_{x/x'}$:

$$\omega_{x/x'}(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = \frac{\omega_x(\mathbf{x}) \int \omega_{x'/x} \left[\bar{\mathbf{x}}', \sum_{i=1}^{N_a} \Phi_i \{1, \dots, i\} \mathbf{x} \right] \delta \left[\mathbf{x}' - \sum_{j=1}^{N_b} \Phi'_j \{2, \dots, j+1\} \bar{\mathbf{x}}' \right] d\bar{\mathbf{x}}'}{\iint \omega_x(\mathbf{y}) \omega_{x'/x} \left[\bar{\mathbf{y}}', \sum_{i=1}^{N_a} \Phi_i \{1, \dots, i\} \mathbf{y} \right] d\mathbf{y} \delta \left[\mathbf{x}' - \sum_{j=1}^{N_b} \Phi'_j \{2, \dots, j+1\} \bar{\mathbf{y}}' \right] d\bar{\mathbf{y}}'}. \quad (15)$$

Полученные распределения полностью определяют величину средних потерь информации, являющихся наиболее адекватным показателем качества синтеза дискретных отображений непрерывных многопараметрических каналов связи. При этом варьируемыми переменными, по-прежнему, остаются операторы модуляции и демодуляции, но уже нерандомизированного типа, имеющие вид многомерных матриц Φ_i , $i = \overline{1, N_a}$ и Φ'_j , $j = \overline{1, N_b}$ соответственно.

Литература.

1. Батенков, К. А. Математические модели модулятора и демодулятора с заданным порядком нелинейности // Цифровая обработка сигналов. – 2013. – № 1. – С. 14–21.
2. Батенков, К. А. Дискретные отображения непрерывного канала связи на основе обобщенного ряда Фурье // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань : 2013. – № 1 (выпуск 43). – С. 12-20.
3. Батенков, К. А. Оценка количества базисных функций нелинейной модуляции // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2012. – Вып. 11. Ч. 1. – С. 217–222. URL: [http://publishing.tsu.tula.ru/Izvest/ tsu_izv_Tehnichesk_nauki_2012\(11_chast_1\).pdf](http://publishing.tsu.tula.ru/Izvest/ tsu_izv_Tehnichesk_nauki_2012(11_chast_1).pdf).

4. Батенков, К. А. Синтез структурной схемы нелинейного демодулятора на основе функционального ряда // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 1 (75). – С. 30–35.
5. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения : учеб. пособие для вузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – 2-е изд. стер. – М. : Высш. школа, 2000. – 383 с.
6. Гельфанд, И. М. Обобщенные функции и действия над ними / И. М. Гельфанд, Г. Е. Шилов. – Изд. второе. – М. : Госуд. изд. физ.-мат. лит, 1959. – 470 с.
7. Теория электрической связи : учеб. для вузов / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, В. И. Коржик, М. В. Назаров ; под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1999. – 432 с.
8. Соколов, Н. П. Пространственные матрицы и их приложения / Н. П. Соколов. – М. : Госуд. изд. физ.-мат. лит, 1960. – 300 с.
9. Пугачев, В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В. С. Пугачев. – М.: Физматгиз, 1962. – 883 с.
10. Стратонович, Р. Л. Теория информации / Р. Л. Стратонович. – М. : Сов. радио, 1975. – 424 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КРОВООБРАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСЦИЛЛОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОНОМЕТРИИ

Ю.Г. Кузьминский, С.В. Шилько, М.В. Борисенко**, Ю.И. Тимофеев****

Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси, ст. научный сотрудник

**Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси, зав. лабораторией, к.т.н., доцент*

***Белорусский государственный университет транспорта, аспирант*

****Гомельский государственный медицинский университет, аспирант*

246050, Гомель, Кирова 32^а, тел. +375232 77-46-38

E-mail: Shilko_mpri@mail.ru

Оценка трудоспособности населения, оптимизация спортивных тренировок и необходимость раннего выявления заболеваний сердца и сосудов требуют создания средств диагностики состояния системы кровообращения (СК), обладающих высокой информативностью при низкой стоимости. Входными данными, как правило, являются параметры антропометрии, а также результаты измерений методами тонометрии, сфигмографии, ЭКГ; способы, основанные на регистрации температуры и т.д. Применение моделей кровообращения позволяет решать задачи с малым числом входных и большим числом выходных параметров [1-4] путем идентификации. Наиболее часто используемым способом получения входных данных для моделирования кровообращения является осциллометрическая тонометрия, который заключается в том, что при размещении руки пациента в камере, в которой создано повышенное давление, возникают флуктуации последнего, коррелирующие по частоте и амплитуде с пульсовым давлением в артерии указанной конечности.

По нашему мнению, математический анализ высокочастотного опроса показателей давления в окклюзионной манжете позволяет, исходя из профиля пульсовой волны, определить ряд параметров СК, характеризующих гемодинамику и состояние сердца и кровеносных сосудов, в особенности, в условиях трудовой или спортивной деятельности.

Для анализа гемодинамики СК целесообразна разработка многокомпонентных безразмерных моделей, не требующих больших вычислительных ресурсов. Кровоток описывается уравнениями Навье-Стокса, неразрывности и законом Пуазейля. В безразмерных моделях сосуды или группы сосудов представляются упругими резервуарами с сосредоточенными параметрами. СК рассматривается, как множество связанных между собой резервуаров с упругими стенками. Такие модели могут содержать различное число элементов – от двух до нескольких сотен.

Реализация. Ниже излагается программно-аппаратное средство определения гемодинамических параметров с использованием расширенной тонометрии и безразмерной модели кровообращения, построенной на основе кислородного баланса человека и весовой минимизации невязок выходных параметров системы кровообращения. Элементами системы являются измерительная часть (тонометр, тензометрическая станция) и компьютерная программа, обеспечивающая расчет более 80 параметров системы кровообращения [5]. На первом этапе методом осциллометрии и анализа формы пульсовой волны определяются ключевые входные параметры – частота сердечных сокращений, артериальное давление, скорость пульсовой волны, доля систолической части кардиоинтервала, а также содержание гемоглобина, восстанавливаемое статистическими зависимостями по вышеназванным

параметрам. Применяемый алгоритм обеспечивает подбор параметра сглаживания амплитуд осцилляции, обеспечивающего минимальное расхождение давлений, найденных по амплитуде осцилляций и по их первой производной. На втором этапе на основе классической тонометрии [6] определяются остальные ключевые показатели – параметр кислотно-щелочного равновесия, уровень аэробного энергообеспечения организма, коэффициент сжатия/расширения крупных артерий. Далее по статистическим зависимостям определяются общая вязкость крови, ударный объем сердца, эластичность стенок сосудов и остальные параметры кровообращения. Основной алгоритм состоит в подборе значений искомым параметрам, обеспечивающих минимум отклонений расчетных и заданных давлений, а также минимум интеграла невязок искомым параметрам и их нормальных значений. Параметры пульсовой волны пациента сравниваются с контрольными профилями типичных состояний кровообращения, в альбом которых включены нормотония и гипертония трех возрастов, атеросклероз, сердечная недостаточность, недостаточность аортального клапана, диабет и др.

Разработанное средство БИОСПАС опробовано при диагностике 12 студентов различной спортивной специализации и квалификации (нагрузочное тестирование с 4 замерами гемодинамики в покое, при стандартной нагрузке, восстановлении в течении 3 и 5 минут); случайно выбранных 5 студентов и 5 студенток, не занимающихся спортом. Исследование гемодинамики пациентов, проходящих амбулаторное лечение гипертонии под контролем кардиолога, выявило зависимость результатов от применяемого лечебного воздействия. Ниже приведен пример диагностики студентки 2 курса Белорусского государственного университета транспорта (г. Гомель).

В представленном документе выделены группы параметров сердца, сосудов, антропометрии, осцилляций, биохимических процессов, а также спортивные индексы. По каждой группе показателей дается 10-бальная оценка и отражается профиль соотношения параметров пациента и установленных норм. Используются графические средства системы СИМОНА для оценки состояния пациента в отношении сердечной недостаточности и артериальной гипертонии.

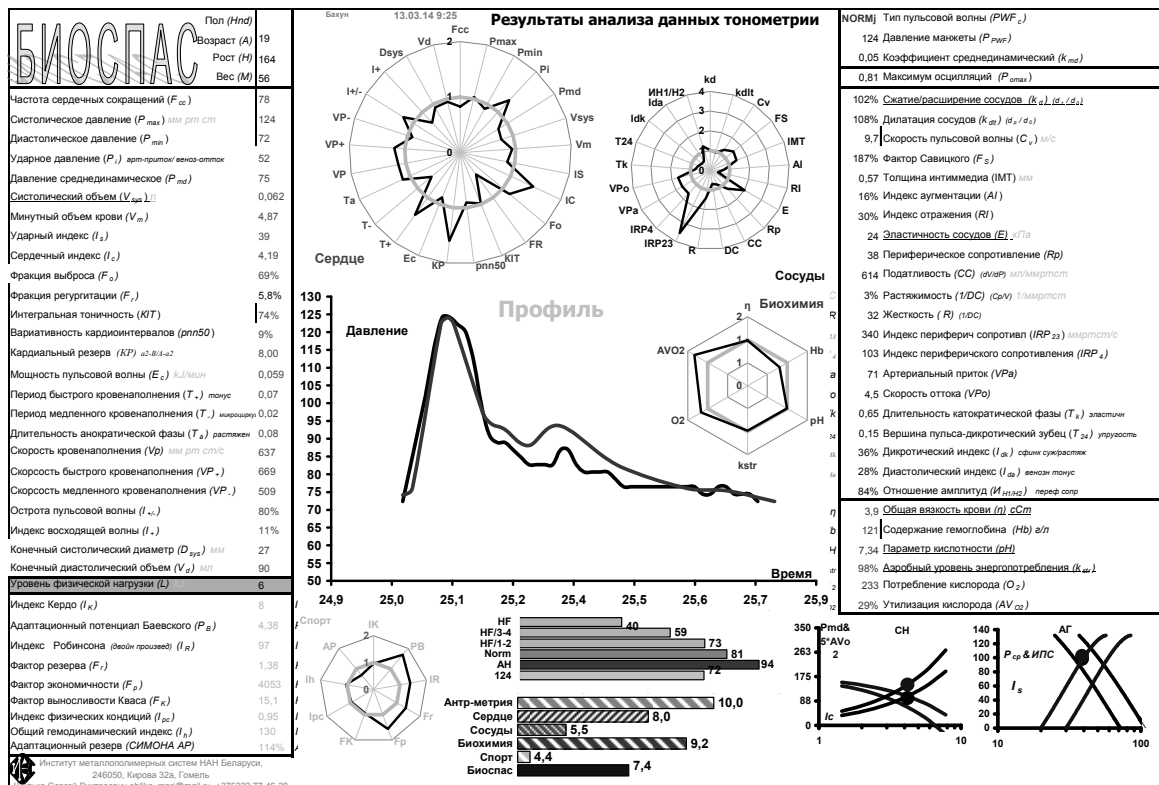


Рис. 1. Параметры системы кровообращения, полученные с использованием средства БИОСПАС

Опыт применения разработанного средства БИОСПАС (рис. 2) позволяет сделать следующие выводы:

- В проведенных экспериментах диагностировано большинство профилей пульсовых волн из имеющегося альбома;
- Гендерные различия при измерениях заключаются, прежде всего, в нижнем пределе регистрации осциллометрических пульсаций (у девушек они значительно ниже);
- Физическая нагрузка сокращает систолическую часть кардиоинтервала;
- В процессе стандартных физических нагрузок пульсовые профили студентов менялись и появлялись признаки нормотонии, сердечной или клапанной недостаточности;
- Спортивная специализация студентов выражалась в уровне кислородообеспечения. Специализация сказывалась на всех этапах замеров в плане вариативности кардиоинтервалов;
- В процессе лечения пациента с первичным диагнозом гипертонии выявилась зависимость результатов диагностики к применяемому лечебному воздействию;
- Параметр сжатия/расширения крупных артерий отражает изменение диаметра мелких сосудов артериальной части.

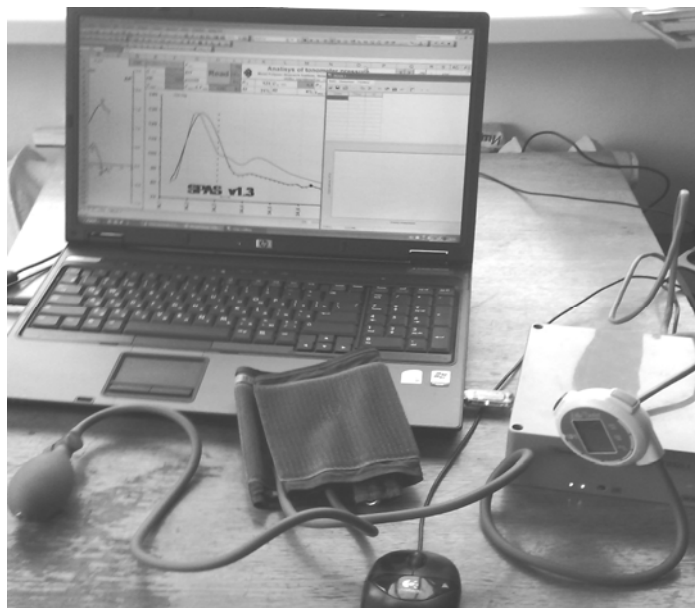


Рис. 2. Лабораторный вариант диагностического средства BIOSPAS

Отдельного внимания заслуживает факт наличия почти у всех пациентов в конце диастолической части кардиоинтервала микроскопических осцилляций, отражающих образование атеросклеротических бляшек. Параметр уровня аэробного энергообеспечения в покое свидетельствует о том, что повышенное потребление кислорода вызывает эйфорию, обычно являющуюся следствием повышенного содержания адреналина. При пониженном потреблении кислорода порождается скопление лактатных остатков анаэробного энергообеспечения и болевые синдромы, например боль за грудиной.

Оценка функционального состояния организма может проводиться по спортивным параметрам. Однако выбор приоритетного параметра для оценки функционального состояния требует специальных исследований с учетом профессиональной или спортивной ориентации.

Расчетные алгоритмы BIOSPAS обладают высоким быстродействием – расчет одного варианта составляет менее 15 с. Основная сложность реализованной в EXCEL системы BIOSPAS состоит в создании удобного архива данных, т.к. для каждого замера необходимо хранить до 3000 чисел. Определенную погрешность, как и при традиционной тонометрии, вносят движения обследуемого и наличие одежды. Алгоритм контроля давлений в манжете прибора BIOSPAS должен сохранить всю ниспадающую часть амплитуд осцилляций. Форма пульсовой волны зависит от текущего давления в манжете, поэтому результаты расчета усредняются для интервала давлений, окружающего найденное систолическое давление.

Основная трудность в определении соответствия по интегралу отклонений профиля кардиоинтервала пациента контрольному профилю состоит в близости контрольных профилей нормотонии

юношеского возраста и сердечной недостаточности. Кроме того, требуется расширение альбома характерных профилей кардиоинтервалов.

Выводы

1. Математическое моделирование системы кровообращения является мощным инструментом идентификации состояния гемодинамики. Привлечение известных статистических зависимостей делает несущественным то, какой метод применяется для получения входных данных для идентификации.
2. Экономичность осциллометрического метода сбора первичных данных позволяет создавать информационные технологии и эффективные приложения для современных мобильных приборов (смартфонов и планшетов) при обязательном проведении полномасштабной сертификации данного диагностического подхода к идентификации параметров сердечно-сосудистой системы.

Литература.

1. Operator's Manual SphygmoCor CvMS – Central Blood Pressure / Pulse Wave Velocity / Heart Rate Variability. – 2008. – P. 63. – www.atcormedical.com
2. Варианты поставки системы интегрального мониторинга «СИМОНА-111». – 2008. – С. 11. – www.symona.ru
3. Анализатор Малыхина-Пулавского (АМП) версия 2009. – www.amp.life3000.ru/images/user_manual_amp2009.pdf
4. Парфенов А.С. Ранняя диагностика сердечно сосудистых заболеваний с использованием аппаратно-программного комплекса «Ангиоскан-01» // Поликлиника. – 2012. – № 2/1. – С. 70–74.
5. Шилько С.В., Шевцов В.В., Борисенко М.В., Кузьминский Ю.Г. Аппаратная реализация биомеханической диагностики сердечно-сосудистой системы по данным осциллометрии // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 2(5). – С. 51–55.
6. Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г., Борисенко М.В. Математическая модель и программная реализация мониторинга сердечно-сосудистой системы // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – № 3(8). – С. 104–112.

СВОЙСТВА ОПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ В МАЛОУГЛОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ НАБЛЮДЕНИЯ

О.Б. Браславская, студент, И.Ю. Гендрина, к. ф.-м. н., доц.

Томский государственный университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел.: 89234223777

E-mail: olechka90@inbox.ru

Фундаментом теории переноса изображения в рассеивающих средах являются два раздела современной науки: теория линейных систем и теория переноса излучения.

Для описания процесса распространения света в среде необходимо знание таких оптических характеристик, как показатели рассеяния и поглощения, а также индикатрисы рассеяния, которые определяются следующим образом:

κ – коэффициент пропорциональности, который называется *показателем поглощения*. $\sigma(\beta)$ – коэффициент пропорциональности, называемый *показателем рассеяния в направлении β* . $x(\beta) = \sigma(\beta) / \sigma$ – *индикатриса* рассеяния – *относительное* угловое распределение силы света излучения, рассеянного элементарным объемом. Распространение света в рассеивающей и поглощающей среде описывается следующим уравнением:

$$\frac{dI(R, n)}{dl} = -\varepsilon I(R, n) + \frac{\sigma}{4\pi} \iint I(R, n') x(n, n') dn' + B(R, n) \quad (1)$$

Предположим, что входным сигналом системы является точечная масса $\delta(x - x_1, y - y_1)$, расположенная в точке (x_1, y_1) . Результирующий выходной сигнал будет функцией x, y и параметров x_1, y_1 :

$$L[\delta(x - x_1, y - y_1)] = h(x, y; x_1, y_1) \quad (2)$$

Это функция называется *точечно-импульсной реакцией* или *функцией рассеяния точки*. Другими словами мы получили отклик системы на точечную массу. Так как произвольная функция $f(x, y)$ может быть представлена как суперпозиция (интеграл) точечных масс, то результирующий выходной сигнал равен

$$g(x, y) = \iint f(\xi, \eta)h(x, \xi, y, \eta)d\xi d\eta \quad (3)$$

Используя выражение (2), определим реакцию $g(x, y)$ как двумерную свертку входного сигнала $f(x, y)$ с функцией рассеяния точки $h(x, y)$.

$$g(x, y) = \iint f(\xi, \eta)h(x - \xi, y - \eta)d\xi d\eta = f(x, y) ** h(x, y) \quad (4)$$

Предположим, что $f(x, y) = e^{j(ux+vy)}$. Подставляя эту функцию в выражение (4), получаем выражение $g(x, y) = \iint h(\xi, \eta)e^{j(u(x-\xi)+v(y-\eta))}d\xi d\eta$.

$$\text{Если } H(u, v) = \iint h(\xi, \eta)e^{-j(u\xi+v\eta)}d\xi d\eta, \text{ то } g(x, y) = L[e^{j(ux+vy)}] = H(u, v)e^{j(ux+vy)}.$$

Функция $H(u, v)$ является двумерным преобразованием Фурье функции $h(x, y)$. Она называется частотной характеристикой двумерной системы, а именно оптической передаточной функцией.

Постановка задачи

Рассмотрим систему передачи изображения: источник – рассеивающая среда – приемник. На нижней поверхности среды расположен источник, на верхней границе среды – приемник. Наша система удовлетворяет условиям линейной системы.

Рассмотрим в качестве оптической модели среды четыре модели:

1. 4 слоя, модель Ленобль: индикатриса рассеяния и коэффициент ослабления, зависящий от высоты.
2. 4 слоя, индикатриса молекулярного рассеяния и коэффициент ослабления, зависящий от высоты.
3. 4 слоя, индикатриса рассеяния Хензи-Гринштейна и коэффициент ослабления, зависящий от высоты.
4. 21 слой, модель Крекова-Рахимова: индикатриса рассеяния и коэффициенты поглощения и ослабления.

Интегральной характеристикой рассеивающей среды является оптическая толщина, определяемая

$$\tau = \sum \varepsilon(z)dz$$

Во многих случаях, когда речь идет о расчете интегральных (энергетических) характеристик световых полей, индикатрису рассеяния достаточно характеризовать одним числом. Таким параметром может быть первый коэффициент разложения x_1 или средний косинус индикатрисы рассеяния

$$\overline{\cos \beta} = \frac{x_1}{3} = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 x(\cos \beta) \cos \beta d(\cos \beta).$$

Часто используют также коэффициент асимметрии индикатрисы

$$\delta = \frac{\int_0^1 x(\cos \beta) d(\cos \beta)}{\int_{-1}^0 x(\cos \beta) d(\cos \beta)},$$

т.е. отношение потоков излучения, рассеянных в переднюю и заднюю полусферу, или параметр $F = \delta/(1 + \delta)$ – долю света, рассеянного вперед. Параметры $\overline{\cos \beta}, \delta, F$ возрастают при увеличении размеров частиц и уменьшении их относительного показателя преломления.

Метод расчета

Для получения характеристик системы передачи изображения в рамках теории переноса изображения и теории линейных систем воспользуемся решением в МУП.

В любой точке среды интенсивность излучения $I(\mathbf{R}, \mathbf{n})$ имеет заметное значение лишь в области углов вблизи направления \mathbf{n}_0 источника и быстро убывает с увеличением расстояния $|\mathbf{n} - \mathbf{n}_0|$. В этом случае, приходят к малоугловому уравнению переноса.

Общее решение малоуглового уравнения переноса имеет вид:

$$\Phi(z, p) = \varepsilon(z) - \sigma(z)x(p, z)$$

Частным случаем является оптическая передаточная функция (ОПФ) среды

$$S(v, z) = \exp\left(-\int_0^z (\varepsilon(z - \xi) - \sigma(z - \xi)x(v\xi, z - \xi))d\xi\right) \quad (6)$$

Перейдем к построению изображения заданного объекта в системе.

Если среды нет, то изображение объекта совпадает с самим объектом. А если есть среда, которая описывается ОПФ, то изображение можно получить следующим способом.

Рассмотрим объект в частотной области. В этом случае двумерное Фурье-преобразование интеграла свертки (4), как известно, представляет собой произведение следующего вида:

$$G(u, v) = F(u, v) * H(u, v) \quad (7)$$

Если к нему применить обратное преобразование Фурье, то получим изображение в пространственной области.

Частным случаем линейной инвариантной системы является система с круговой симметрией. Для системы с круговой симметрией используют прямое и обратное преобразование Ганкеля в прямой и пространственной частотной области.

Будем использовать обратное преобразование Ганкеля $f(r)$ функции $\bar{f}(\omega)$:

$$f(r) = \int_0^{\infty} \omega \bar{f}(\omega) J_0(r\omega) d\omega \quad (8)$$

При $u = \varpi \cos \varphi$

$v = \varpi \sin \varphi$

получим

$$\varpi = \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$G(\omega) = F(\omega) * H(\varpi).$$

Построим изображение для 2-х объектов, заданных в частотной области следующими функциями:

$$f = \frac{1}{\omega} \quad \text{и} \quad f = \frac{1}{\sqrt{a^2 + \omega^2}}$$

Для заданных объектов формула (7) превращается в формулу (9). Применив к $G(\omega)$ обратное преобразование Ганкеля, получим:

$$\int_0^{\infty} \omega G(\omega) J_0(r_1 \omega) d\omega = \int_0^W \omega F(\varpi) H(\omega) J_0(r_1 \omega) d\omega$$

Итак $g(r_1) = \int_0^W \omega F(\varpi) H(\omega) J_0(r_1 \omega) d\omega \quad (9)$

Результаты расчетов

ОПФ рассчитывается в МУП путем численного интегрирования с помощью метода трапеций в среде MatLAB 7.12.0 (R2011a). При моделировании рассеивающая среда предполагается плоскопараллельной, слоисто-однородной. Мононаправленный источник единичной мощности находится на нижней границе среды (на поверхности Земли), приемник – на верхней границе атмосферы на высоте $z = 30$ км. Оси приемника и источника совпадают. Результаты приведены на рис. 1 и 2.

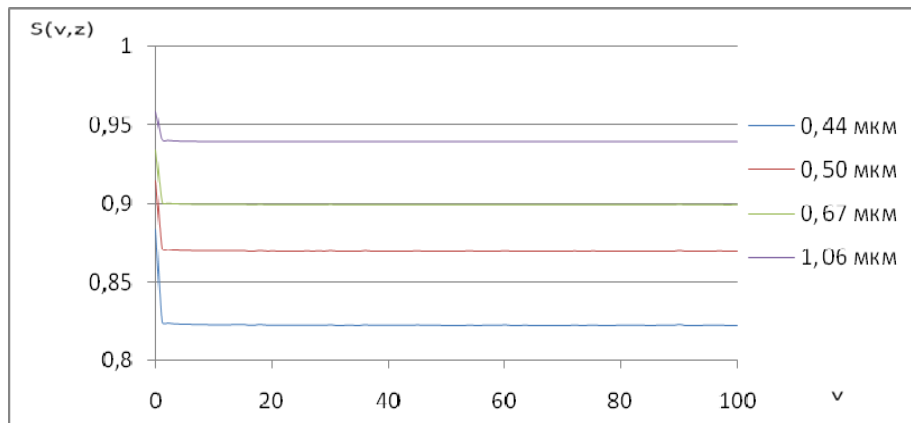


Рис. 1. ОПФ для первой модели для 4-х длин волн: $\lambda=0,44$ мкм, $\lambda=0,50$ мкм, $\lambda=0,67$ мкм, $\lambda=1,06$ мкм

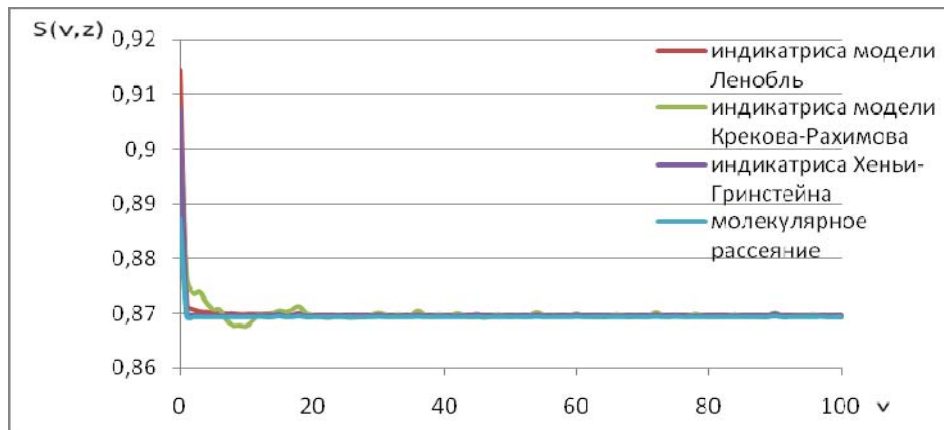


Рис. 2. ОПФ для 4-х типов модели для $\lambda=0.5$ мкм

Анализ приведенных данных позволяет сделать следующие выводы: Как видно на рисунках 1 и 2, ОПФ – монотонно убывающая функция. Отметим, что индикатриса рассеяния оказывает значительное влияние на ОПФ. Этот вывод можно сделать на основании того, что средний косинус (таблица 1) и коэффициент асимметрии (таблица 2) для 4-х моделей индикатрис на одной и той же длине волны имеют заметное отличие между собой. Также можно сказать о том, что ОПФ для одной и той же длины волны слабо зависит от типа рассмотренных моделей, т.к. все кривые почти совпадают. Это видно из рисунка 2. Значительное влияние на ОПФ оказывает оптическая толщина среды τ (таблица 3). Поскольку тип модели незначительно влияет на ОПФ, а зависимость возникает от τ , то вместо стратифицированной модели атмосферы можно рассмотреть однородную модель с соответствующим значением τ .

Таблица 1

Средний косинус для 4-х типов модели

модель индикатрисы	длина волны λ , мкм	средний косинус $\cos \beta$
модель Ленобль	0,44	0.3208
	0,5	0.3223
	0,67	0.3187
	1,06	0.3179
индикатриса молек.рассеяния	0,5	0.0035
модель Крекова-Рахимова	0,53	0.4300
модель Хеньи-Гринштейна	0,5	0.2529

Таблица 2

Коэффициент асимметрии индикатрисы и доля света, рассеянного вперед для 4-х типов модели

модель индикатрисы	длина волны λ , мкм	коэффициент асимметрии δ	доля света, рассеянного вперед F
модель Ленобль	0,44	8.1054	0.8902
	0,5	8.3425	0.8930
	0,67	8.0716	0.8898
	1,06	7.8892	0.8875
индикатриса молек.рассеяния	0,5	1.0064	0.5016
модель Крекова-Рахимова	0,53	20.4304	0.9533
модель Хеньи-Гринштейна	0,5	4.8679	0.8296

Таблица 3

Оптическая толщина		
модель индикатрисы	длина волны λ , мкм	оптическая толщина τ
модель Ленобль	0,44	0,6451
	0,5	0,4608
	0,67	0,3502
	1,06	0,2064
модель Крекова-Рахимова	0,53	0,1584

По формуле (9) были посчитаны изображения.

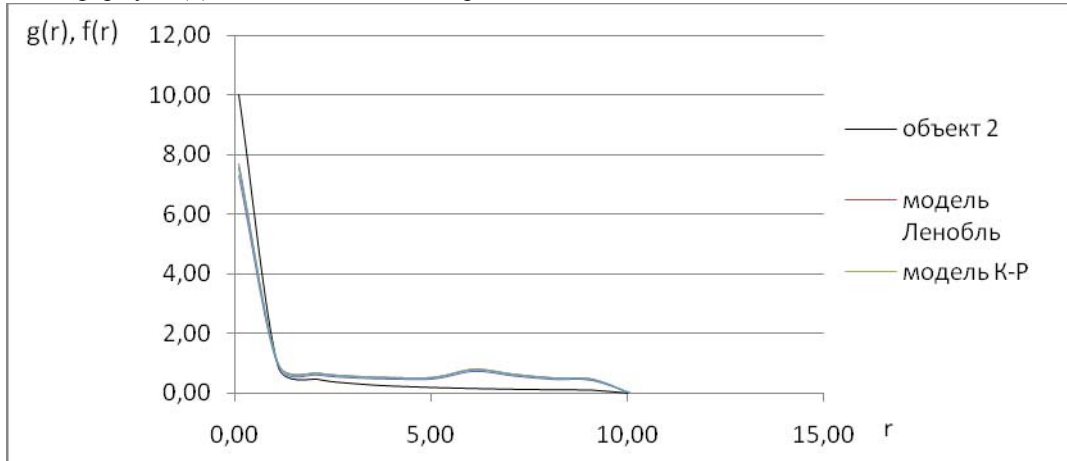


Рис. 3. Объект 1 $f(r)$ и полученные изображения $g(r)$ для 4-х типов модели для $\lambda=0.5$ мкм

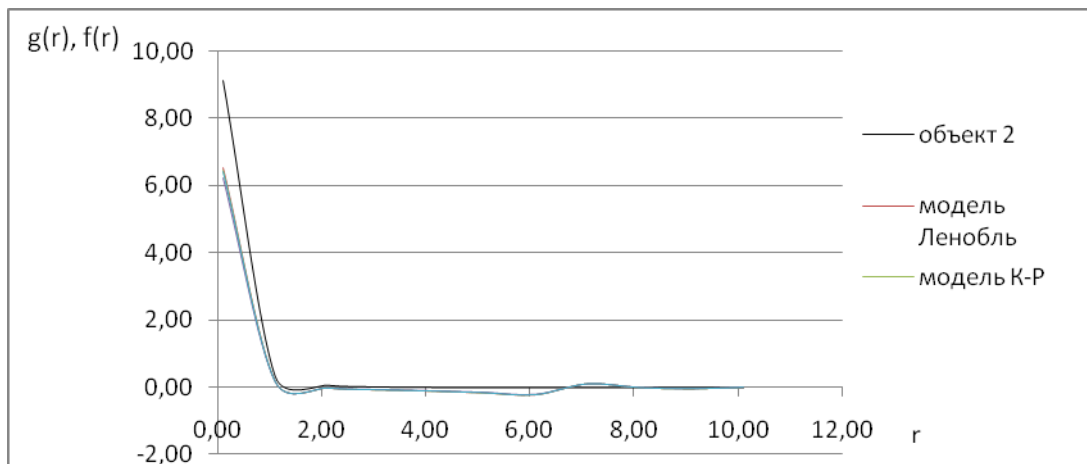


Рис. 4. Объект 2 $f(r)$ и полученные изображения $g(r)$ для 4-х типов модели для $\lambda=0.5$ мкм

ОПФ можно использовать для восстановления оптических характеристик среды. Для этого мы планируем создать базу данных, содержащую расчеты ОПФ для различных оптико-геометрических условий.

Из вида графиков следует, что объект и изображения, полученные аналитически и путем численного интегрирования в среде matlab, совпадают в пределах погрешности. При построении изображения потребовалось много расчетов многомерных фурье-преобразований и преобразований Ганкеля. Можно отметить, что тип модели незначительно влияет на изображение, т.к. графики на рис. 3 и 4 почти совпадают между собой.

Заключение. Изучены свойства ОПФ в МУП для различных условий наблюдения. Отмечено, что МУП позволяет посчитать ОПФ и ФРТ с маленьким шагом. Несмотря на то, что МУП обладает небольшой областью применимости, данный метод показывает хорошие результаты в безоблачной

атмосфере. Построены изображения тестовых объектов для различных оптико-геометрических условий наблюдения.

Литература.

1. Зега Э. П. Перенос изображения в рассеивающей среде / Э. П. Зега, А. П. Иванов, И. Л. Кацев. – Минск: Наука и техника, 1985. – 327 с.
2. Иванов А. П. Оптика рассеивающих сред. Минск.: Наука и техника, 1969. – 592 с.
3. Кабанов М. В. Атмосферные оптические помехи: учебное пособие / М. В. Кабанов. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 1991. – 206 с.
4. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике / А. Папулис. – М.: Мир, 1971. – 495 с.
5. Креков Г.М. Оптические модели атмосферного аэрозоля / Г.М. Креков, Рахимов Г.М. – Томск: Изд-во Том. филиала СО АН СССР 1986. – 294 с.
6. Ленобль Ж. Перенос радиации в рассеивающих и поглощающих атмосферах. Стандартные методы. Расчеты. /Ж. Ленобль. – Гидрометеиздат, 1990.

РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ СИЛ

Ю.В. Василевич, д. ф.-т. н., проф., Е.В. Томило, аспирант

Белорусский национальный технический университет

220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, тел. +375295625987

E-mail: Zhenjatomilo@gmail.com

В современной сельскохозяйственной и почвообрабатывающей технике Республики Беларусь широкое применение нашли листовые рессоры в качестве защитных элементов. На рис. 1 представлен многокорпусный плуг с рессорной защитой [1-2]. Листовая рессора работает на удержание корпуса плуга на необходимой глубине при вспашке и подъёма его при наезде на препятствие с последующим заглублением.



Рис. 1. Многокорпусный плуг с рессорной защитой

Применение предохранительного механизма, оснащённого рессорами, отличается высокой эксплуатационной надёжностью, стабильностью при различных температурах и возможностью оперативного изменения характеристик по средствам добавления или удаления листов. Схема срабатывания рессорной защиты представлена на рис. 2.

Нами разработана расчётная схема с учётом граничных условий для определения усилий, действующих на рессору в процессе работы. Схема включает в себя основные элементы плуга в сборе и представляет собой ферму с подвижными и неподвижными сочленениями (рис. 3).

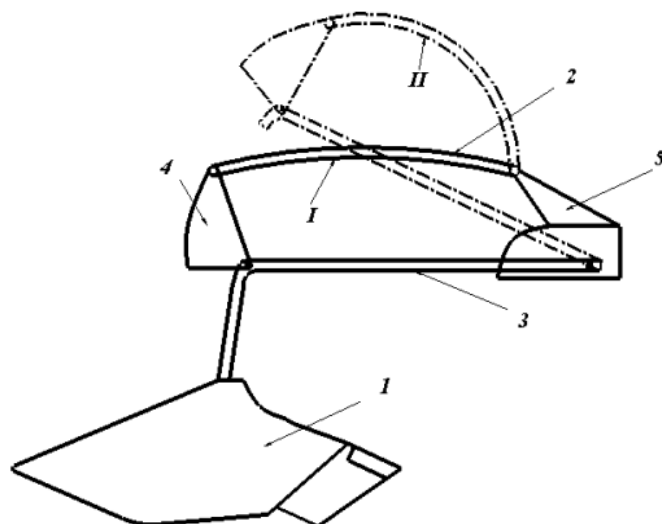


Рис. 2. Схема работы защитного механизма корпуса плуга: I – положение рессорной защиты при вспашке; II – положение срабатывания упругого элемента при наезде на препятствие; 1 – Корпус плуга; 2 – Упругий элемент; 3 – Грядиль; 4 – Кронштейн подвижный; 5 – Кронштейн неподвижный

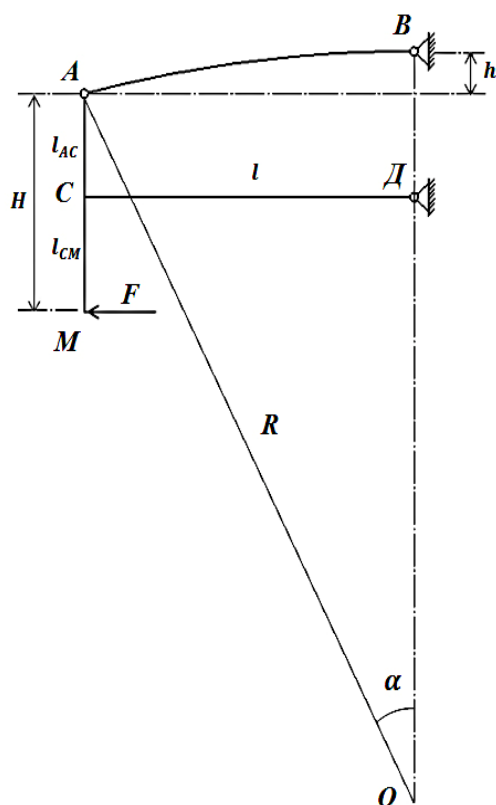


Рис. 3. Расчётная схема конструкции корпуса плуга

Нами проведены расчёты для определения внутренних усилий в элементах плуга. На рис. 4-6 представлены эпюры продольных усилий, поперечных сил и изгибающих моментов для всей конструкции корпуса плуга, исключая сам упругий элемент.

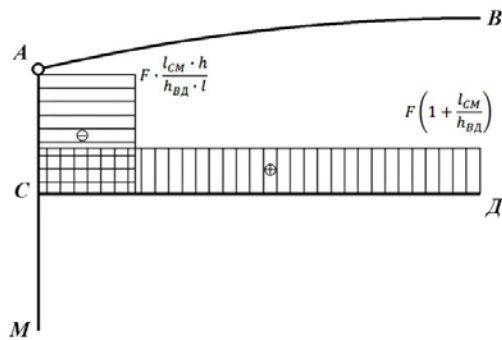


Рис. 4. Эпюра продольных усилий

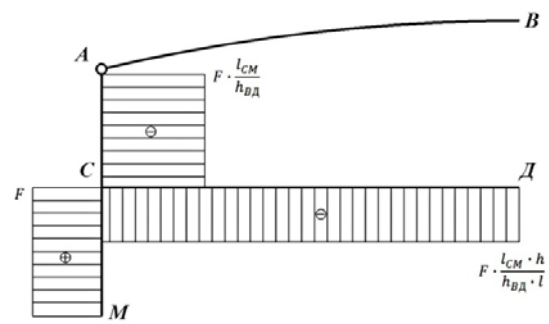


Рис. 5. Эпюра поперечных сил

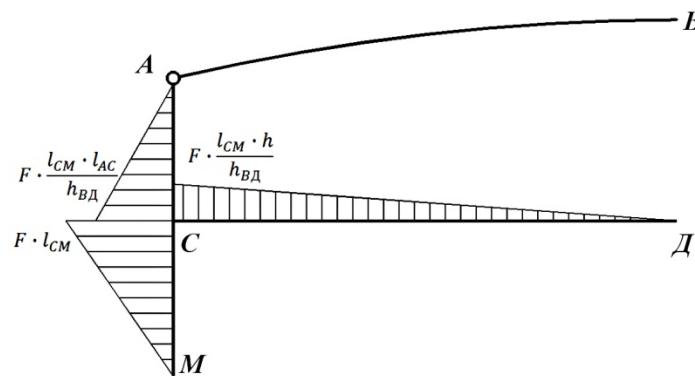


Рис. 6. Эпюра изгибающих моментов

Установлено, что на шарнир А действуют вертикальная сила $Y_A = N(x_2) = F \cdot \frac{l_{CM} \cdot h}{h_{BD} \cdot l}$ и горизонтальная сила $X_A = Q(x_2) = F \cdot \frac{l_{CM}}{h_{BD}}$. Вследствие наличия шарнира В вертикальная сила Y_A вызовет перемещение шарнира А и, как следствие, подъём корпуса плуга из почвы при наезде на препятствие. Вертикальная же сила X_A идёт на деформацию рессорной защиты. Таким образом, задачу расчёта защитного элемента корпуса плуга можно свести к задаче продольного изгиба листов рессоры. Так для плуга с параметрами $F = 3000 \text{ Н}$, $l = 0,7 \text{ м}$, $l_{CM} = 0,875 \text{ м}$, $l_{AC} = 0,25 \text{ м}$, $h = 0,1 \text{ м}$ значение сжимающей силы $X_A = F \cdot \frac{l_{CM}}{h_{BD}}$ достигнет значения 7500 Н.

Компьютерное моделирование напряжённо-деформированного состояния рессор

Расчётная модель листа переменного профиля малолистовой рессоры создана нами с использованием программного комплекса SolidWorks. Для соответствия конструкции рессоры балке равногo сопротивления построена модель листа постоянной ширины с толщиной, изменяющейся по параболическому закону. После построения расчётной модели рессоры в SolidWorks, следует её импорт в программный комплекс ANSYS Workbench с последующим заданием механических свойств материала, граничных условий работы листа рессоры и приложением нагрузок. Разработанная расчётная модель листа рессоры программный комплекс ANSYS Workbench помогает в сравнительно короткие сроки оценивать характеристики разных вариантов конструкций рессор и выбрать наилучшую.

Исследования напряжённо-деформированного состояния защитного элемента корпуса плуга при динамических условиях эксплуатации

Нами проведено компьютерное моделирование напряжённо-деформированного состояния плужной рессоры в условиях динамического нагружения, при скоростях 0,14 м/с, 1,4 м/с и 14 м/с. Целью этого исследования являлось определение влияния инерционных сил на характер деформации листа.

Считалось, что при эксплуатационных скоростях сельскохозяйственной техники инерционные эффекты отсутствуют. Полученные нами результаты (рис. 7-9) позволяют утверждать, что при расчётах напряжённо-деформированного состояния рессор необходимо учитывать динамический характер нагружения.

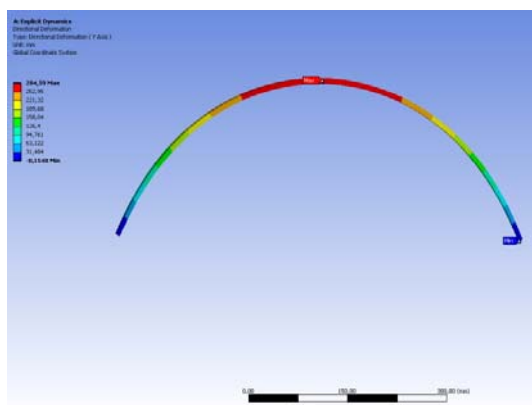


Рис. 7. Деформации листа рессоры при скорости нагружения 0,14 м/с

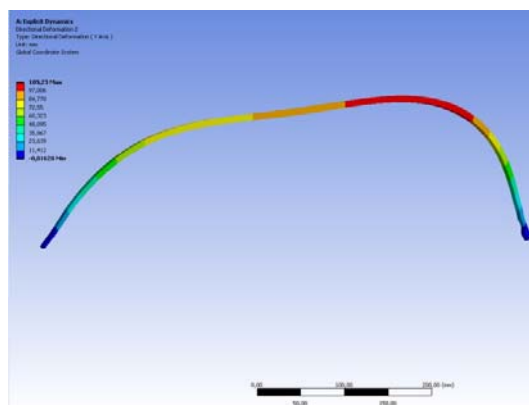


Рис. 8. Деформации листа рессоры при скорости нагружения 1,4 м/с

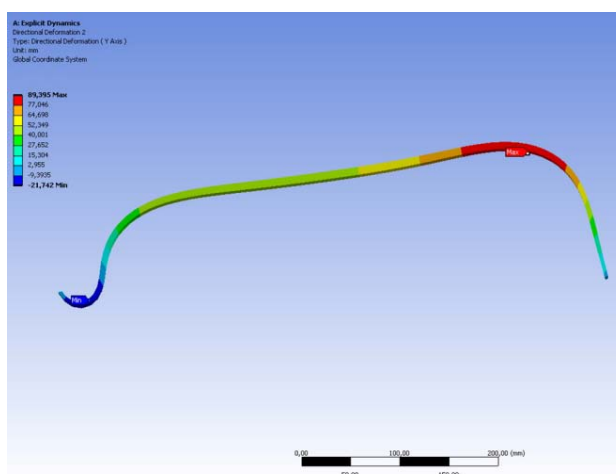


Рис. 9. Деформации листа рессоры при скорости нагружения 14 м/с

Так на рис. 7 наблюдается прогиб листа рессоры приближенный к дуге окружности. С увеличением скорости нагружения до 1,4 м/с собственная масса рессоры накладывает значительный отпечаток на её напряжённо-деформированное состояние рис. 8. Деформация листа рессоры уже не носит симметричного характера. Максимальные напряжения и деформации приходятся на подвижный конец. При этом неподвижный конец рессоры практически сохраняет своё первоначальное состояние. На рис. 9 характер деформирования подвижного конца рессоры схож с представленным на рис. 8. Однако неподвижный конец испытывает значительные деформации в направлении противоположном нагружению.

Вывод

Проведенные исследования показали, что традиционно применяемая в почвообрабатывающей технике рессора с симметричным профилем не удовлетворяет эксплуатационным требованиям при скоростях превышающих 1,4 м/с. Рекомендуемая скорость вспашки – от 2,5 до 3,5 м/с. Из этого следует необходимость проектирования защитных элементов корпусов плугов с асимметричным профилем, зависящим от скорости вспашки.

Литература.

1. Перспективные материалы и технологии / Под редакцией В.В. Клубовича – Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2013. – 655с. – Глава 18. Аналитический расчёт и компьютерное моделирование напряжённо-деформированного состояния листовых рессор // Клубович В.В., Василевич Ю.В., Томило Е.В., Игнатков Д.А. – с.356–389
2. Клубович, В.В. Технологии и обработки специальных периодических профилей: монография / В.В. Клубович, В.А. Томило. – Минск: БНТУ, 2007. –298 с.

3. Василевич, Ю.В. Моделирование напряжённо-деформированного состояния упругих элементов при больших деформациях / Ю.В. Василевич, В.В. Левкович, Е.В. Томило // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VII Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19-21 сентября 2012 г.): сб. материалов. В 3 кн. Кн. 3. Технологические процессы обработки металлов давлением, получения материалов с применением технологий литья. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2012. – С.215-221.
4. Томило Е.В. Влияние скорости нагружения на особенности деформирования листа переменного сечения / Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции молодых учёных «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» Могилёв: Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – 290 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ В СФЕРЕ МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ

*Р.Р. Галин, м.н.с., Р.В. Мещеряков, д.т.н., проф., В.Н. Щербаков, магистрант
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, тел. (3822) 51-36-00
E-mail: ppos.grr@gmail.com*

В период постоянной социализации общества, вопрос повышения качества государственных и муниципальных услуг (далее по тексту – государственных услуг) в России не теряет актуальности, а напротив, становится все более требовательным и необходимым. Повышение качества государственных услуг приобрело особое внимание со стороны органов государственной власти с момента проведения административных реформ [1, 2], так как напрямую зависит от эффективности государственного управления.

Согласно Концепции реформирования государственной службы РФ было обозначено, что необходимо достижение качественного уровня предоставления государственных услуг, данный уровень включает в себя снижение административных барьеров и качественное исполнение должностных обязанностей со стороны государственных служащих. Стандартом государственной услуги является система требований в интересах ее получателя [3, 4].

Проведение административных реформ ввело понятие – «государственные услуги». В данном контексте государственное управление понимается как исполнительная деятельность органов государственной власти в хозяйственной, социально-культурной и административно-политической жизни человека [5]. Это конкретный вид деятельности, целью которой является осуществление единой государственной политики [6].

Система расстановки приоритетов и принимаемые меры, в целях создания условий и возможностей для успешной социализации молодёжи с ориентацией на социально-экономическое и культурное развитие страны – это основная характеристика понятия «молодежная политика» [7].

Государственные (муниципальные) услуги – основная форма отношений «потребителя услуг» (физические или юридические лица) и власти, где государство выступает «поставщиком услуг» [8].

Качество государственной услуги – это совокупность качественных и количественных характеристик процесса предоставления государственных услуг [6].

В условиях современных рыночных отношений положение молодежи занимает важную роль, выполняя особые социально-значимые функции: наследует достигнутый уровень развития общества и государства, быстрыми темпами, адаптируя его в современных условиях, формирует в себе образ будущего, выполняет функцию социального воспроизводства, преемственности развития общества [9].

Методические подходы к оценке эффективности государственного управления в сфере молодежной политики

В настоящее время в регионах применяются различные методики по оценке качества государственных и муниципальных услуг. Разность методик обусловлена социально-экономическим положением и развитием каждого региона в отдельности. Данная ситуация не позволяет применять методике одного региона относительно другого.

Для сравнения приводятся примеры методических рекомендаций оценки качества государственных и муниципальных услуг в Московской и Челябинской областях в расчете эффективности бюджетных средств в разрезе государственных услуг и их оказания.

Согласно концепции административной реформы установлены основные показатели достижения цели введенных реформ [10]:

- оценка гражданами деятельности органов исполнительной власти по оказанию государственных услуг;
- уровень издержек бизнеса на преодоление административных барьеров;
- место Российской Федерации в международных рейтингах показателей качества государственного управления.

Основываясь на нормативно-правовых актах Правительства и Концепции административной реформы были утверждены Методические рекомендации о порядке оценки соответствия качества фактически оказываемых государственных услуг (выполненных работ) утвержденным стандартам качества государственных услуг (работ) Московской области [11]. В рамках утвержденных методических рекомендаций определена процедура проведения оценки соответствия качества государственных услуг на основе следующих методов:

- контрольные мероприятия по проверке соответствия качества фактически оказанных государственных услуг;
- анализ отчетов о выполнении государственного задания государственными учреждениями Московской области;
- определение соответствия качества фактически оказанных государственных услуг;
- опрос потребителей государственных услуг.

Методика оценки характеризуется проведением оценки по каждой бюджетной услуге. Сводная оценка результатов соответствия качества оказанных государственных услуг утвержденным стандартам качества, по приведенным выше методам рассчитывается по каждой государственной услуге по следующей формуле:

$$O_c = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{m} * 100\% ,$$

где O_c – сводная оценка результатов расчета итоговой оценки; K_i – коэффициент соответствия качества оказанных государственных услуг по итогам i -го метода; m – количество методов расчета оценки качества государственных услуг.

По представленной методике сводная оценка (%) соответствует следующим примечаниям:

- 91-100 – Качество государственной услуги (работы) соответствует стандарту качества государственной услуги (работы);
- 81-90 – Качество государственных услуг (работ) в целом соответствует стандарту качества;
- 51-80 – Государственная услуга представляется с устранимыми нарушениями качества;
- 0-50 – Качество государственной услуги не соответствует стандарту.

В Челябинской области методика оценки качества государственных услуг основана на расчете эффективности использования бюджетных средств на соответствующие государственные услуги в соответствии с Положением о порядке ведения и использования Реестра бюджетных услуг [12]. При разработке методики были поставлены основные задачи: создание системы оценки и контроля деятельности исполнительных органов государственной власти Челябинской области, формирование информационной базы принятия решений, внедрение механизма учета эффективности оказания бюджетных услуг, обеспечение прозрачности и обоснованности решений о бюджетных услугах и затратах денежных средств, а также информирование граждан об эффективности использования бюджетных средств [12].

Методика оценки качества государственных услуг рассматривается в разрезе бюджетных ассигнований как составляющая оценки эффективности использования бюджетных средств по двум направлениям:

- оценка достижения плановых показателей непосредственного результата оказания бюджетной услуги;
- оценка полноты использования бюджетных ресурсов.

Оценка эффективности государственных услуг за счет использования бюджетных средств в Реестре бюджетных услуг Челябинской области рассчитывается по формуле:

$$O_{\text{оы}} = O_1 * D_1 + O_2 * D_2 + \dots + O_n * D_n ,$$

где n – количество способов оказания государственной услуги; D_i – доля расходов на оказание государственной услуги по i -му способу и в общем объеме расходов бюджетных средств; O_i – оценка эффективности использования бюджетных средств на оказание государственной услуги по i -му способу.

Расчет эффективности использования бюджетных средств на предоставление государственных услуг рассчитывается по формуле:

$$CO = \frac{(ДПКЭ + O_{бр})}{2},$$

где ДПКЭ – достижение показателя конечного эффекта, включающее плановое и фактическое значение конечного эффекта предоставления государственных услуг за отчетный период.

Сводная оценка качества государственных услуг (CO) в Челябинской области сводится к определению эффективного использования бюджетных средств на предоставление данных услуг. В свою очередь эффективность использования бюджетных средств оценивается по шкале от 0,1 до 1,4 со значением критерия от крайне низкой эффективности использования до очень высокой эффективности использования соответственно.

Подводя итоги сравнения представленных методик оценки качества государственных услуг, становится очевидным, что оценка проводится по большей степени с учетом экономического фактора, при этом вопрос социального эффекта остается второстепенным.

Далее предлагается к рассмотрению методика оценки качества государственных услуг на примере г. Томска. Определение качества государственных услуг на территории города Томска осуществляется на основании поданных данных (отчетов) административными учреждениями о выполнении программы мероприятий по реализации молодежной политики согласно утвержденной смете расходования бюджетных ассигнований на это направление. Данные в отчетах несут следующую основную информацию:

- наименование мероприятия (перечень мероприятий утвержден со сметой расходования бюджета на предполагаемый период времени, и не может быть изменен за исключением внесенных изменений в программу);

- объем финансирования (приводится объем финансирования фактически затраченных ресурсов на выполнение программы по реализации молодежной политики; объем финансирования может как превышать утвержденную сумму согласно смете расходования бюджета, так и быть меньше, чем запланировано);

- количественные показатели (количество граждан, принявших участие в программе как получатели государственных услуг – участники программы реализации молодежной политики);

- качественные показатели (к качественным показателям относятся морально-этические, культурные и социально-значимые ценности реализуемой программы в сфере молодежной политики).

Основной оценкой качества фактически предоставленных услуг является агрегированная оценка качества государственных услуг с учетом уровня результативности [9]. В целях ее достижения предлагается в данной статье для города Томска в сфере молодежной политики следующая оценка качества, включающая такие методы как:

- контроль качества фактически предоставленных государственных услуг в соответствии со стандартом качества государственных услуг;

- анализ отчетов о выполнении государственного задания в сфере молодежной политики;

- проведение социологических опросов участников программы (получателей государственных услуг) о качестве предоставляемых услуг: выяснение удовлетворенности получателей государственных услуг.

В отличие от вышепредставленных методик оценки качества государственных услуг, данная методика обладает конкретной определенной аудиторией – граждане категории «молодежь». Реализация молодежной политики города Томска, в котором пятая часть населения – молодежь, является важным направлением развития государственной политики региона. Молодежная политика города ориентирована на следующие категории населения:

- на молодых граждан в возрасте от 14 до 35 лет (в том числе на граждан, оказавшихся в сложной жизненной ситуации);

- на молодежные организации;

- на молодые семьи.

Качественные государственные услуги в сфере молодежной политики города Томска будут способствовать ускорению общественного развития, где молодежь знает, разделяет и принимает цели и задачи государственного управления и общества, связывает с ними свои жизненные перспективы, обладает необходимой информацией о ресурсах и возможностях для активной социализации в обществе [13, 14].

Структурная модель оценки качества государственных и муниципальных услуг в сфере молодежной политики представлена на рис. 1.

Методы, представленные выше, являются измеримыми характеристиками государственных услуг в сфере молодежной политики. Характеристики рассчитываются с применением таких математических методов как: метод последовательных сравнений, метод парных сравнений, метод задания весовых коэффициентов.

Результирующей оценкой качества государственной и муниципальной услуги гражданам категории «молодежь» в сфере молодежной политики является значение, рассчитанное по формуле:

$$O_y = \frac{\sum_{i=1}^m K_{ci} + \sum_{i=1}^m K_{ai} + \sum_{i=1}^m K_{ci}}{n * m},$$

где O_y – оценка качества государственной и муниципальной услуги гражданам категории «молодежь» в сфере молодежной политики; K_{ci} – оценка соответствия качества стандарту; K_{ai} – оценка анализа исполнения государственного задания; K_{ci} – оценка удовлетворенности граждан; n – количество методов оценки качества государственных и муниципальных услуг гражданам категории «молодежь» в сфере молодежной политики; m – количество оцениваемых государственных и муниципальных услуг гражданам категории «молодежь» в сфере молодежной политики.

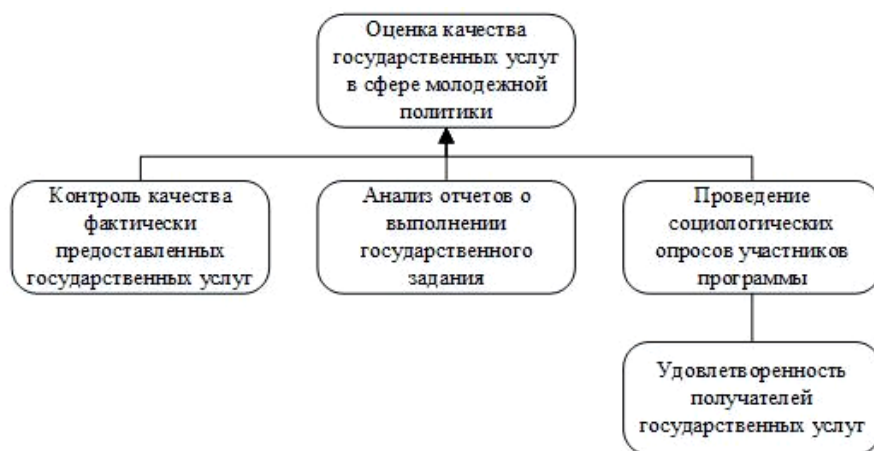


Рис. 1. Структурная модель оценки качества государственных услуг в сфере молодежной политики

Критерии оценки качества государственных и муниципальных услуг в сфере молодежной политики представлены в таблице:

Критерий оценки	Коэффициент
Государственные и муниципальные услуги в сфере молодежной политики являются качественными, уровень результативности более 90 % (высокое качество).	0,91-1,0
Государственные и муниципальные услуги в сфере молодежной политики являются качественными, уровень результативности 75 – 90 % (качество выше среднего).	0,75-0,9
Государственные и муниципальные услуги в сфере молодежной политики являются качественными, уровень результативности 50 – 74%, требуется принятие мер по повышению качества (среднее качество).	0,4-0,74
Государственные и муниципальные услуги в сфере молодежной политики являются не качественными, уровень результативности менее 40% (плохое качество).	0,1-0,39

Итоговая агрегированная оценка качества государственных услуг, применив предложенный критерий, равна значению коэффициента от 0,1 до 1,0 – данное значение свидетельствует о качестве государственных услуг с уровнем результативности. Очевидно, что предложенная методика позволяет более полно оценить оказание государственных услуг по сравнению с оценкой исключительно затраченных средств на оказание услуги.

Выводы

В данной статье показаны методические подходы к оценке государственных и муниципальных услуг в сфере молодежной политики. Также предложена методика на примере г. Томска, которая объединяет качественные и количественные характеристики государственных услуг и позволяет дать измеримый результат. Используя подобные подходы к определению эффективности в целом, государственное управление приходит к своей сути как сервисное управление для населения. В контексте статьи получателями государственных услуг является население, задействованное в реализации молодежной политики. Молодежь сегодня представляет значимую часть российского общества, которое формирует социально-демографическую группу с особенностями социального положения, определяемое социально-экономическим и культурным развитием страны. Для государства важна молодежная политика и тем самым создание качественных условий для развития ее потенциала.

Увеличивая эффективность и качество государственного управления в сфере молодежной политики по всему спектру жизнедеятельности населения, удастся интегрировать молодежь в вопросы развития региона и государства, где она будет являться двигателем прогрессивного общества.

Литература.

1. Концепция реформирования государственной службы РФ, утвержденной Указом Президента РФ от 15 августа 2001 г.
2. Концепция административной реформы в Российской Федерации. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 октября 2005 г. № 1789-р.
3. Федеральная программа «Реформирование государственной службы РФ (2003–2005 гг.)», утвержденной Указом Президента РФ от 19 ноября 2002 г.
4. ISO: Международные стандарты. Ч. 1: Управление качеством продукции. М.: ИНСАР Лтд., 1992. 172 с.
5. Русецкий А.Е. Государственное управление. // Москва, 2001 г. [Электронный ресурс] - статья. Режим доступа: <http://www.tarasei.narod.ru/read/st7.htm>.
6. Галин Р.Р., Мещеряков Р.В. Статья «МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГОСУДАРСТВЕННЫХ УСЛУГ В СФЕРЕ МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ», Изд. - Качество. Инновации. Образование., Фонд «Европейский центр по качеству», 2013. Научный журнал. С 61-65. [Режим доступа: <http://www.quality-journal.ru>].
7. Стратегия государственной молодежной политики в Российской Федерации. Москва, 2005 г.
8. Чиркин В.Е. Система государственного и муниципального управления: учебник. 4-е изд., пересмотр. – М.: Норма, 2012.
9. Бабенко Е.И., Кудрявцева У.П. Система показателей оценки качества телекоммуникационных услуг. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.quality-journal.ru/data/article/692/files/BabenkoKudryavtseva@QJ1209.pdf>.
10. Распоряжение Правительства РФ от 25 октября 2005 г. N 1789-р. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.admhmao.ru/adm_reform/zakon/1789.htm.
11. Распоряжение Министерства экономики Московской области от 31.08.2010 № 56-РМ «Об утверждении Методических рекомендаций по расчету нормативов затрат на содержание имущества, находящегося в собственности Московской области, необходимого бюджетным и автономным учреждениям Московской области для выполнения государственных заданий на оказание государственных услуг (выполнение работ) физическим и юридическим лицам».
12. Положением о порядке ведения и использования Реестра бюджетных услуг Челябинской области, утвержденным постановлением Губернатора Челябинской области от 15.05.2008 г. №154.
13. Поршнева А.Г. Качество, результативность и эффективность менеджмента. // Москва, 2010 г. [Электронный ресурс] – статья. Режим доступа: http://www.elitarium.ru/2010/04/05/kachestvo_menedzhmenta.html.
14. Повный Д.А. Понятие «Государственная услуга» в контексте административной реформы, проводимой в Российской Федерации. // Статья, г. Челябинск, Вестник ЧелГУ № 7, 2009 г. Право. Вып. 18. С. 66-68.

15. Галин Р.Р. Эффективная модель государственного управления на примере муниципального образования г. Томск. Всероссийская научно-техническая конференция «Научная сессия ТУСУР 2013». Автоматизация технологических процессов. Сборник докладов. Т., 2013.
16. Галин Р.Р. Тезисы «Эффективное государственное управление в социальном воспроизводстве общества». Изд. - Наука, образование, общество: тенденции и перспективы: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 января 2013 г., АР-Консалт, Москва, 2013. С 132, 133.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА

*М.Г. Григорьев, аспирант, Н.В. Турушев, аспирант,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. +7(913)-824-83-97
E-mail: Mishatpu@sibmail.com*

По данным всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) от болезней сердца и сосудов каждый год в мире погибают более 17 миллионов человек. Более того, согласно прогнозу ВОЗ к 2030 году умрет ещё около 23,6 миллионов человек. В России, в 2012 году от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) погибли 1 млн. 232 тыс. 182 человека (рис. 1)[1].

Основным наиболее распространенным в медицинских учреждениях различного уровня является электрокардиографический (ЭКГ) метод исследования состояния сердечно-сосудистой системы человека. ЭКГ метод является методом функциональной диагностики с количественной оценкой результатов исследования. Впервые кардиографические исследования были проведены в конце 19-го века шотландским ученым Александром Мьюхедом [2]. Тело представляет собой объемный проводник. Активная работа сердца приводит к генерации электромагнитного поля, которое может быть измерено на поверхности тела. Это поле в ходе возбуждения сердца постоянно меняется и характеристики этого поля в каждый момент времени зависят от того, в каком направлении движется по сердцу волна возбуждения. Изучение этого поля позволяет судить о последовательности возбуждения предсердий и желудочков.

Решением данной проблемы занимается множество предприятий, но особого успеха добились лишь единицы.



Рис. 1. Отчет ВОЗ по ССЗ за 2012 г.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время отсутствуют аппаратно-программные комплексы (АПК) для массового применения (в отделениях функциональной диагностики и кардиологии, в стационарах, в поликлиниках и медико-санитарных частях, в машинах скорой помощи, а также в частной медицинской практике, в домашних условиях, в постоянно носимых аппаратах) с целью неинвазивного углубленного исследования сердца путем регистрации низкоамплитудных потенциалов сердца с поверхности тела человека без процедуры осреднения кардиоциклов и фильтрации. Подобные аппараты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Краткий обзор по фирмам – производителям

Название фирмы	Кол-во отведений	Уровень сигнала, мкВ	Частотный диапазон, Гц	Цена, тыс. руб.
Геолинк-Электроникс (Россия)	3	6	0,03-10,0	270
Rozinn (США)	3	8	0.05-70	385
OXFORD (Англия)	3	5	0,05-100	400
ФГБОУ ВПО НИ ТПУ (Россия)	3-12	0,3	0-10000	<50
Davis Medical Electronics Inc. (США)	3-12	2	0.05-60	227
HELLIGE (США)	3-12	5	0,05 -100	417
CardioMem CM 3000 (Германия)	3	8	0,03-70	160
Scan Tech Medical, LLC (США)	3	6	0.05-100	163

Как видно из таблицы, рыночная стоимость кардиографов известных компаний непомерно велика по сравнению с предложенным нами продуктом. Это связано с тем, что в устройстве используются разработанные нами наносенсоры, позволяющие без использования фильтров и осреднения получать сигналы нановольтового уровня.

Актуальным для совершенствования диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе и для ранней диагностики сердца взрослых, детей, младенцев и плода, является разработка нового поколения наносенсоров и компьютеризированной ЭКГ-аппаратуры высокого разрешения для применения в поликлиниках и в домашних условиях.

Для решения данной задачи необходимо исследование численной модели распространения возбуждения в сердечной мышце.

Возбуждение распространяется по сердечной ткани с определенной скоростью, различной для разных отделов сердца (рис. 2).

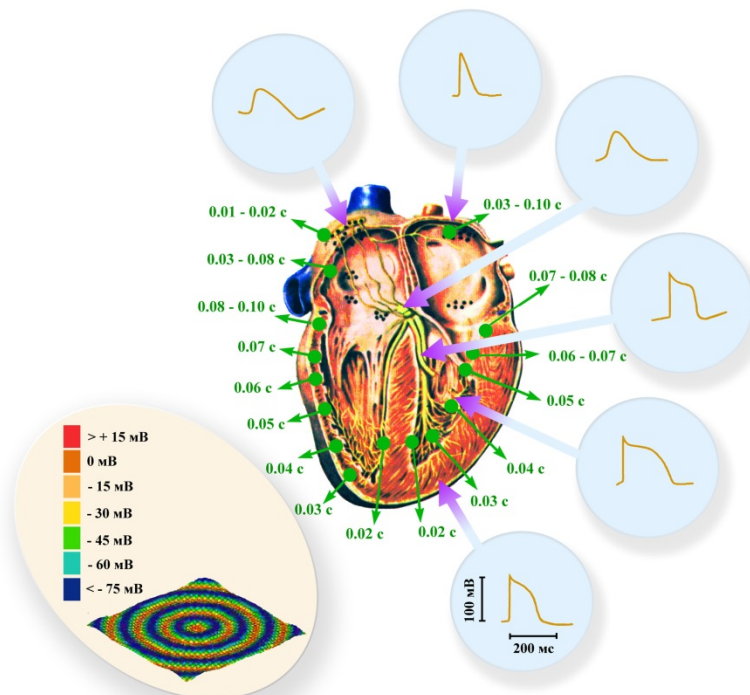


Рис. 2. Схема пространственно-временной организации нормальной работы сердца человека

Зеленые надписи и стрелки указывают время прихода волны возбуждения в данную область сердца. Голубые врезки показывают форму профиля бегущей волны (т.н. «потенциала действия») в

разных областях сердца, обусловленную различием свойств элементов возбудимой среды, которую формируют ткани сердца. Бежевая врезка — нормальное распространение бегущей волны возбуждения из пейсмекерной зоны в центре (синусового узла) в сторону краев (по рабочему миокарду) в простейшей имитационной математической модели [3].

В результате формируется пространственно-временная организация возбуждения сердца, обеспечивающая его функционирование. При моделировании процесса распространения возбуждения необходимо учитывать все особенности организации возбуждения в сердце.

Для моделирования распространения возбуждения предложена одна из простейших моделей возбудимых сред [4], двухкомпонентная модель Алиева-Панфилова. Модель реализована в виде уравнений типа «реакция – диффузия».

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -ku \cdot (u - a) \cdot (u - 1) - uv + \Delta u, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\left(\varepsilon_0 + \frac{\mu_1 v}{u + \mu_2}\right) \cdot (v + ku \cdot (u - a - 1)), \quad (2)$$

где $u(x, y, t)$ – безразмерная функция, соответствующая трансмембранному потенциалу, и $v(x, y, t)$ – безразмерная функция, соответствующая медленному мембранному току восстановления. При этом связи между клетками сердечной мышцы описываются диффузионными членами уравнений, а динамика отдельной клетки – реакционными нелинейными членами уравнений. Проведя ряд экспериментов, были определены параметры модели, при которых система лучше всего соответствует свойствам сердечной мышцы: $k = 8.0$, $\varepsilon_0 = 0.01$, $\mu_1 = 0.2$, $\mu_2 = 0.3$, $a = 0.15$.

Для реализации моделирования процесса распространения возбуждения в сердце, в рамках концепции оценки состояния сердечно-сосудистой системы (ССС), на базе лаборатории № 63 института неразрушающего контроля предполагается разработка аппаратно – программного комплекса. Алгоритм работы АПК представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Алгоритм моделирования процесса распространения возбуждения в сердце

Согласно алгоритму сначала на основе анализа кардиографической информации осуществляется задание начальных и граничных условий модели, затем определяются параметры модели для различных анатомических отделов сердца, и моделируется распространение возбуждения. По ре-

зультатам моделирования осуществляется визуализация распространения возбуждения на поверхности сердца пациента.

Литература

1. Сердечно – сосудистые заболевания. Информационный бюллетень №317. // Сайт Всемирной организации здравоохранения [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/index.html>. – Загл. с экрана.
2. Alexander Muirhead // Wikipedia.com: [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Muirhead(дата обращения: 11.02.2014).
3. Сердце человека // Wikipedia.ru: [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Сердце_человека (дата обращения: 18.02.2014)
4. Простейшие модели возбудимых сред // Mathematical Cell: [Электронный ресурс]. – режим доступа: http://www.mathcell.ru/ru/obzors/obzor_Elkin2 (дата обращения: 10.03.2014)

АНАЛИЗ СТОЙКОСТИ КВАНТОВЫХ ПРОТОКОЛОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ

*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*

Квантовая криптография как наука зародилась в 1984 году, когда был разработан первый квантовый протокол распределения ключей, названный BB84 [1]. В настоящее время квантовая криптография включает несколько разделов: квантовые протоколы распределения ключей (КПК), квантовые протоколы защищенной прямой связи, аутентификацию квантовых сообщения и квантовую цифровую подпись.

Квантовое распределение ключей – метод, с помощью которого между двумя абонентами (Алиса и Боб) может быть распределен секретный ключ, если они имеют доступ к квантовому каналу связи, т.е. каналу для передачи отдельных квантовых частиц, например, фотонов, и открытому обычному каналу с возможностью аутентификации отправителя сообщения. Основным преимуществом квантового распределения ключей перед обычными классическими схемами является принципиальная возможность обнаружить подслушивающего агента, который, в силу законов квантовой физики, при подслушивании вынужден возмущать состояния передаваемых квантовых частиц [2]. Таким образом, подслушивающий агент, по традиции называемый Евой, вносит в передаваемую последовательность бит определенный процент ошибок. Если уровень ошибок при передаче значительно превышает естественный уровень помех в канале, то это служит сигналом к прерыванию процедуры передачи ключа.

Целью настоящей работы является анализ стойкости двух протоколов с передачей кубитов к различным стратегиям атак подслушивающего агента.

Следует отметить, что доказательство стойкости всего протокола квантового распределения ключа является трудной теоретической задачей квантовой криптографии, которая в настоящее время не решена полностью ни для одного протокола. Однако некоторые аспекты безопасности различных КПК уже анализировались в литературе. В частности для некоторых протоколов и для некоторых конкретных стратегий атак уже получены зависимости $I_{AE}(D)$.

Стратегии атак подслушивающего агента

Простейшим видом съема информации в обычных оптических телекоммуникационных системах является разделение пучка фотонов. Однако в протоколах квантовой криптографии передача должна происходить посредством одиночных фотонов, и в таком случае Ева не может ответить часть сигнала. Поэтому данный вид атак не применим в квантово-криптографических системах в идеальных условиях однофотонных сигналов. На практике в настоящее время используют слабые когерентные импульсы, излучаемые лазерными светодиодами [3]. В настоящее время и в квантовой криптографии возможны атаки с разделением пучка фотонов.

Основные стратегии атак, которые может использовать Ева в случае, когда все сигналы содержат строго один фотон, подразделяют на два класса [2]. К первому классу относят *некогерентные* или индивидуальные атаки. При таких атаках Ева обрабатывает каждый фотон Алисы отдельно. Простейшим вариантом является атака перехвата – повторной отправки фотона. Ева перехватывает

посылаемые Алисой фотоны, измеряет их состояния и отправляет затем новые фотоны Бобу в измеренных ею состояниях.

Второй класс атак – так называемые *когерентные* атаки, при которых Ева может любым (унитарным) способом перепутать пробу любой размерности с целой группой передаваемых одиночных фотонов. Предельный вариант такой атаки, когда Ева перепутывает свою пробу со всей последовательностью переданных Алисой фотонов, иногда называют *объединенной (joint)* атакой [3].

Атака разделения числа фотонов на протокол BB84

Как отмечено выше на практике используют слабые когерентные импульсы, излучаемые лазерными светодиодами [3]. Вероятность того, что импульс содержит n фотонов определяется распределением Пуассона:

$$\rho_n = e^{-\mu} \frac{\mu^n}{n!}, \quad (1)$$

где μ – среднее число фотонов в импульсе.

В случае квантового канала с потерями, вероятность того, что Боб зарегистрирует в полученном импульсе n фотонов определяется формулой:

$$\rho_{n,\text{loss}} = e^{-n\mu} \frac{(n\mu)^n}{n!}, \quad (2)$$

где η – коэффициент передачи канала.

Вероятность зарегистрировать в импульсе более одного фотона дается формулой

$$\rho_{n>1,\text{loss}} = 1 - e^{-n\mu} (1 + \eta\mu) \quad (3)$$

Таким образом, становится возможной атака разделения числа фотонов. Для каждого импульса Ева должна выполнить квантовое неразрушающее измерение числа фотонов в импульсе, не влияя при этом на их поляризацию. Отметим, что такое измерение очень сложно выполнить, однако в настоящее время это технически возможно [4].

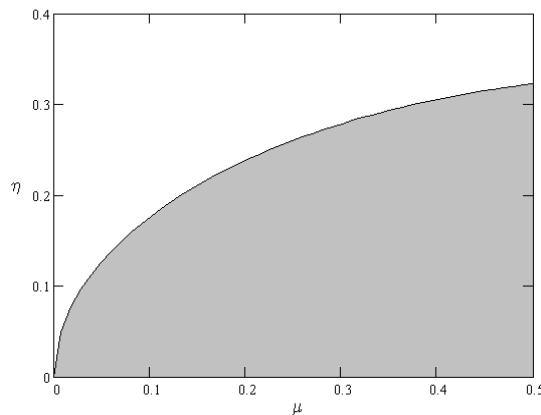


Рис. 1. Область параметров η и μ , где атака разделения числа фотонов будет успешна при замене исходного канала с потерями на идеальный

Для Евы также есть возможность заменить квантовый канал с потерями, который используют Алиса и Боб, на канал без потерь. В этом случае Ева получает возможность блокировать некоторую часть однофотонных импульсов так, чтобы Боб в результате получил приблизительно ожидаемое им число пустых импульсов. Для исходного канала с очень большими потерями такая стратегия позволяет Еве получить почти полное знание ключа, не внося никаких ошибок. Кроме того, существует некоторая область параметров η и μ , где атака разделения числа фотонов позволяет Еве сохранить не только ожидаемую Бобом долю пустых сигналов, но также и всю статистику числа фотонов в импульсе [5]. На рис. 1 эта область выделена серым цветом. Отметим, что на практике для передачи ключа по протоколу BB84 с помощью слабых когерентных импульсов используют источники с μ порядка 0,1. Этому на рисунке соответствует серая область $\eta < 0,176$, т.е. Ева может остаться необнаруженной и получить при этом полную информацию о ключе, только, если потери в исходном канале очень велики. Отсюда в частности следует, что Алиса и Боб на практике должны использовать

квантовый канал ограниченной длины так, чтобы его коэффициент передачи оставался достаточно высоким [6].

Вероятность для Евы правильно измерить состояние пробы, перепутанной с фотоном Алисы, дается выражением [4]:

$$P_{\text{correct}} = \frac{1 - e^{-\mu}(1 + \mu) + (1 + k)\mu e^{-\mu} \left(\frac{1}{2} + \sqrt{D(1-D)} \right)}{1 - e^{-\mu}(1 + \mu k)} \quad (4)$$

Так как вероятность для Евы неверно измерить состояние пробы равна $(1 - P_{\text{correct}})$, то $I_{AE}(D)$ для описанной атаки просто равна

$$I_{AE}(D) = \frac{1}{2} \Phi[1 - 2(1 - P_{\text{correct}})] \quad (5)$$

Для практической реализации протокола рекомендуется использовать слабые когерентные импульсы $\mu \leq 0,1$. Обратной стороной этого является низкая скорость передачи, так как даже при полном отсутствии потерь в канале и при $\mu = 0,1$, в среднем только один из десяти импульсов содержит хотя бы один фотон.

Атаки на протокол с 6-ю состояниями для случая однофотонных сигналов

Этот протокол является расширением BB84 и использует максимально возможное число базисов для двухуровневых систем – три сопряженных базиса, в отличие от двух для BB84. Эффективность протокола с 6-ю состояниями меньше эффективности BB84, так как для генерации ключа здесь используется в среднем только 1/3 переданных кубитов.

Взаимная информация между Алисой и Евой для оптимальной некогерентной атаки на протокол с 6-ю состояниями дается выражением:

$$I_{AE}(D) = 1 + (1 - D)[f(D) + (1 - f(D)) \log_2(1 - f(D))], \quad (6)$$

$$\text{где } f(D) = \frac{1}{2(1 + \frac{\sqrt{D(2-3D)}}{1-D})}$$

Взаимная информация между Алисой и Евой для когерентной атаки на протокол с 6-ю состояниями вычисляется по той же схеме, что и для протокола BB84. При этом вместо условий $b=c=d$, $d = \frac{1}{2}ND$. Тогда выражение можно окончательно привести к следующему виду:

$$I_{AE}(D) = - \frac{1}{2[(1 - \frac{3}{2}D) \log_2(1 - \frac{3}{2}D) + \frac{3}{2}D \log_2(\frac{1}{2}D)]} \quad (7)$$

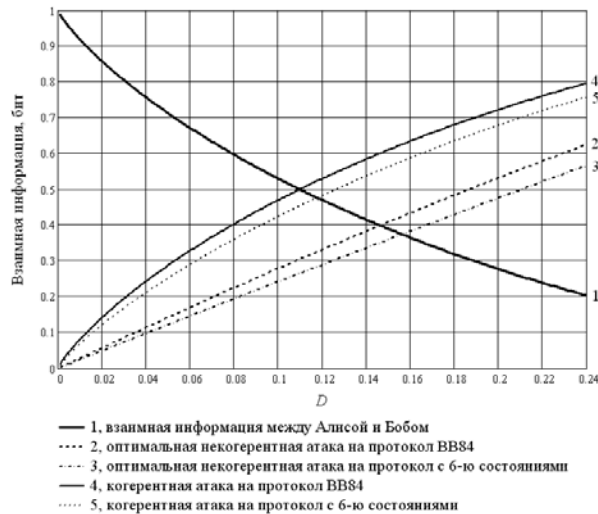


Рис. 2. Взаимная информация $I_{AE}(D)$ (кривая 1) и $I_{AF}(D)$ для различных стратегий атак на протокол с 6-ю состояниями (кривые 2–5)

На рис. 2 показаны зависимости $I_{AE}(D)$ для оптимальной некогерентной атаки на протоколы BB84 и с 6-ю состояниями, а также для когерентной атаки на эти протоколы. Видно, что при всех D кривые для протокола с 6-ю состояниями лежат ниже соответствующих кривых для BB84. Это означает несколько большую стойкость протокола с 6-ю состояниями к указанным атакам.

Если Ева применяет лишь простую атаку перехвата – повторной отправки кубитов, протокол BB84 будет безопасным вплоть до $D \approx 17\%$. Для оптимальной некогерентной атаки Евы соответствующие границы $D \approx 14,6\%$ для BB84 и $D \approx 15,6\%$ для протокола с 6-ю состояниями. Для когерентной атаки $D \approx 11\%$ и $D \approx 11,8\%$ соответственно. Таким образом, протокол с 6-ю состояниями может быть успешно реализован при несколько более высоком уровне ошибок, чем протокол BB84, независимо от типа применяемой атаки.

Что касается атаки разделения числа фотонов на протокол BB84, то приведем соответствующую границу для $\mu = 0,1$ и $\eta = 0,9$, что приблизительно соответствует параметрам используемого на практике оборудования. Эта граница $D \approx 13,8\%$ и лежит между соответствующих границ для некогерентной и когерентной атак на однофотонные сигналы, ближе к границе для оптимальной некогерентной атаки. Такой результат вполне естественен, так как Ева блокирует долю k однофотонных импульсов ($k = 0,101$ для указанных μ и η), а к остальным применяет оптимальную некогерентную атаку. Так как в данном случае k мало, то стойкость протокола BB84 к атаке разделения числа фотонов не намного меньше, чем к оптимальной некогерентной атаке.

Заключение

В работе проанализированы различные виды атак на два КПК с целью сравнения стойкости этих протоколов к различным атакам. Протокол считается более стойким, если он допускает более высокий уровень ошибок, при котором Алиса и Боб могут установить секретный ключ с использованием процедур исправления ошибок и усиления секретности.

Исходя из вышеназванного критерия, следует сделать вывод, что протокол с 6-ю состояниями является более стойким, чем протокол BB84. Однако преимущество протокола с 6-ю состояниями невелико – при заданном D Ева получает меньше информации максимум на 5,8 % при оптимальной некогерентной атаке и максимум на 4,7 % при когерентной. С другой стороны, верхняя граница уровня ошибок, при которой протокол может быть реализован с использованием процедуры усиления секретности, для протокола с 6-ю состояниями также не намного выше, чем для BB84: 11,8% против 11%. Учитывая, что средняя эффективность протокола с 6-ю состояниями равна $1/3$, в то время как для BB84 она равна $1/2$, что приводит к значительно меньшей скорости передачи, включая в протоколе с 6-ю состояниями, можно сделать вывод, что этот протокол практически не имеет никаких преимуществ по сравнению с протоколом BB84.

Атака разделения числа фотонов на протокол BB84 является достаточно мощной. Однако при использовании в качестве источника сигналов слабых когерентных импульсов со средним числом фотонов в импульсе порядка 0,1, а также при использовании квантовых каналов с малыми потерями ($\eta = 0,9 \div 1$), при такой атаке Алиса и Боб смогут установить секретный ключ, если уровень ошибок при передаче не превышает $\sim 14\%$. Платой за секретность в данном случае является очень низкая эффективность протокола и, соответственно, низкая скорость передачи ключа.

Литература

1. Bennet C.H., Brassard G. Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing // Proc. of IEEE Int. Conf. on Comput. Sys. And Sign. Proces., Bangalore, India, - 1984.
2. Баумейстер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации.- Москва: «Постмаркет», 2002.
3. Gisin N., Ribordy G., Tittel W., Zbinden H. Quantum cryptography // Reviews of Modern Physics.- 2002.- V. 74, №1.- P. 145-195.
4. Williamson M., Vedral V. Eavesdropping on practical quantum cryptography // Journal of Modern Optics.- 2003.- V. 50, № 13.- P. 1989-2011.
5. Lutkenhaus N., Jahma M. Quantum key distribution with realistic states: photon-number statistics in the photon-number splitting attack // New Journal of Physics.- 2002.- V. 4.- P.44.1-44.9.
6. Niederberger A., Scarani V., Gisin N. Photon-number-splitting versus cloning attacks in practical implementations of the Bennett-Brassard 1984 protocol for quantum cryptography // Physical Review A.- 2005.- V. 71.- Art. 042316.

АНАЛИЗ ВЕБ-СЕРВИСОВ С ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИЕЙ

С.Е. Нифталиев, студ., В.А. Эттель, к.т.н., доцент

Карагандинский государственный технический университет

100012, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Ленина, д. 62, кв.2

E-mail: simran.azer@mail.ru, ettel62@mail.ru

На улице любого города можно встретить людей разного возраста, в руках которых или мобильный телефон, или смартфон, или планшет. Никого не удивит сегодня iPhone или Samsung Galaxy. Актуально возникает проблема защиты своих персональных данных, так как в настоящее время своему гаджету доверяется много вещей: пароли банковских карточек и платежных систем, онлайн-банкинг, данные паспорта, пароли от аккаунтов Gmail, Facebook, Microsoft и многое другое.

В статье будут рассмотрены вопросы достаточности защиты одним паролем для обеспечения сохранности личной информации; выбора способа, позволяющего повысить процент конфиденциальности данных.

Последние годы IT-специалисты всего мира всё больше внимания уделяют проблеме обеспечения безопасности доступа к сайтам и сервисам в Интернете [1]. Желая предоставить пользователям, возможность действительно безопасного доступа к данным, такие крупные гиганты как, Google, Twitter, Apple, Facebook, Microsoft ввели дополнительные факторы аутентификации.

Всего лишь 3-4 года назад, для того чтобы чужой человек не вошел в аккаунт, достаточно было сложного пароля, содержащий символы % & * () @. Сегодня такая мера, как использование сложного пароля, не предоставляет полной защиты. Аутентификация по одному фактору ненадежна из-за широкого распространения способов взлома, разработки шпионских программ и фишинговых сайтов, с помощью которых несложно украсть сложные пароли и взломать аккаунты с информацией.

Многие сайты и сервисы используют многофакторную аутентификацию, чаще всего двухфакторную. Дадим определение данному термину.

Двухфакторная аутентификация - это проверка подлинности личности и определение ей доступа к ресурсам с помощью двух факторов. То есть пользователю необходимо знать не только пароль, но и иметь что-то дополнительно, например, смартфон или планшет. Внедрению двухфакторной аутентификации способствовала частота использования людьми компьютерных технологий. Для большей наглядности, приведем пример с сервисом Gmail.

Gmail является самым популярным в настоящее время email-сервисом [2], [9]. Это название ассоциируется с удобством использования и безопасностью. Несмотря на меры, которые компания принимает для обеспечения безопасности, аккаунт может стать жертвой хакеров и различных злоумышленников.

Многие используют логин и пароль для доступа к почте Gmail или других сервисов Google. Google предлагает возможность дополнительной защиты с помощью двухфакторной аутентификации или, по версии Google, двухступенчатой проверки. Двухступенчатая проверка Google требует две вещи для аутентификации: пароль и смартфон. В качестве подтверждения Google каждый раз отправляет SMS-сообщение с уникальным одноразовым паролем. Именно этот пароль и нужно будет вводить. Или можно установить приложение, которое будет генерировать такие пароли, вместо SMS-сообщений.

Ценность подобного способа усиленной аутентификации состоит в том, что даже в случае, если злоумышленники взломают пароль, они не смогут получить доступ к вашим учётным записям Google без физического доступа к смартфону. Таким образом, пользователь и его информация защищены. Необходимо помнить, что коды подтверждения, которые пользователь будет получать в виде SMS-сообщений, уникальны и при каждой аутентификации отличаются. Так что придется проходить двухступенчатую проверку при каждом входе в сервис. Эта услуга не включена по умолчанию. Чтобы её подключить, нужно войти в учётную запись Google и в настройках безопасности выбрать опцию двухступенчатой проверки.

Метод двухфакторной защиты работает в Интернет аналогично работе банкомата с картой и ПИН - кодом. Пользователь может использовать логин и пароль для доступа к online аккаунтам. Однако, после успешного ввода пароля, сайт не предоставляет доступ к учётной записи, а запрашивает второй фактор аутентификации, например, проверочный код. Если у пользователя нет второго фактора, он не получит доступ к учётной записи. Это второй уровень защиты. Даже, если злоумышленники подберут пароль, то пользователь и его учётная запись по-прежнему в безопасности, так как преступники не смогут совершить второй шаг для получения доступа к информации.

Двухфакторная аутентификация состоит из двух факторов: один - это пароль, а второй фактор предоставляется на выбор из следующих:

- привязка номера мобильного телефона к аккаунту, на который придет код доступа – SMS - авторизация;

- с помощью сервисов, разрабатывающих программы, генерирующие одноразовые коды доступа. Например, программа Gmail - Google Authenticator. Для программы не обязательно подключение Интернет-соединения;

- с помощью генератора паролей, устройства генерирующего одноразовые коды - eToken PASS.

На сайте поддержки Google support.google.com, написано, что двухэтапная аутентификация позволяет повысить уровень безопасности аккаунтов Google Apps пользователей за счет того, что при входе помимо пароля требуется указывать код подтверждения [7].

Основной задачей двухфакторной аутентификации является обеспечение безопасного процесса при входе в какую-либо систему. Ни одна защита не является 100%-ной, и двухфакторная аутентификация также не является надежной, но ее взлом на сегодняшний день проблематичен. Хакеру необходимо не только перехватить пароль через ваш компьютер или планшет, но и установить вирус на смартфон для перехвата SMS-сообщения. Или находиться рядом с вами.

Следовательно, функцией двухфакторной аутентификации является проверка личности пользователя при входе в систему путем ввода уникального кода.

Система двухфакторной аутентификации создается с целью минимизации угроз информационной безопасности, существующих вследствие использования паролей [3].

К основному преимуществу можно отнести её способность защитить информацию, как от внутренних угроз, так и от внешних вторжений [4]. Определенным недостатком можно считать необходимость использования дополнительных программно-аппаратных комплексов, устройств хранения и считывания данных. В то же время, в настоящий момент статистика взломов систем, применяющих двухфакторную аутентификацию, отсутствует или ничтожна. Рассмотрим преимущества двухфакторной аутентификации:

- пользователи могут применить одноразовые пароли. С помощью социальной инженерии хакеры могут подсмотреть пароль, но не смогут им воспользоваться, так как одноразовые пароли генерируются через определенный промежуток времени. При следующем входе, старый пароль будет недействительным;

- нет необходимости устанавливать дополнительное программное обеспечение пользователю;

- на сервисах снижается нагрузка на администрирование, за счет отслеживания и изменения статических паролей;

- нет необходимости приобретать оборудование и лицензии;

- пользователю не придется придумывать каждый раз сложные пароли и проверять их на сложность.

Наряду с Gmail усиленную защиту внедрили веб-сервисы Twitter, Microsoft и Facebook. Компания Microsoft запустила традиционную двухфакторную аутентификацию для своих online-сервисов: пользователю наряду с обычным паролем в аккаунт необходимо ввести цифровой код доступа [6].

Двухфакторная аутентификация в Facebook основана на тех же принципах, что и Gmail. Для настройки необходимо войти в Настройки - Безопасность - Подтверждения входа и далее с помощью мастера настроить подтверждение. Далее процесс настройки осуществляется с помощью мастера и не требует никаких усилий.

Кроме двухфакторной аутентификации Gmail предлагает следующие способы защиты аккаунтов - активация HTTPS защиты, предоставление доступа к своему аккаунту. Сервис Facebook предоставляет возможность SSL - шифрование, используемое для всех действий, выполняемых пользователем в социальной сети Facebook.

Microsoft, внедряя двухфакторную аутентификацию, уделяет большое внимание сложности пароля. Пароль должен содержать не менее восьми символов, но не более 16. В настройках учетной записи на сайте Microsoft пользователь может установить требование к смене пароля каждые 72 дня.

Рассмотрев, выше описанные сервисы и двухфакторную аутентификацию в данных сервисах, следует сделать вывод, что это большой шаг в развитии информационной безопасности и конфиденциальности обычных и корпоративных пользователей.

Во всех сервисах заявлена возможность распечатать коды подтверждения «на будущее». Все процессы сопровождаются человеческим фактором, и в данном случае человек может потерять рас-

печатанные листы с кодами. Но с другой стороны, чтобы получить доступ к аккаунту, необходимо знать пароль. Все же в любом случае это надежнее использования только пароля.

Проанализировав защиту аккаунтов пользователей, таких крупных сервисов, как Google, Facebook, Microsoft, можно сказать, что прилагаются все усилия для обеспечения их безопасности. Применяются такие современные методы по защите пользовательских аккаунтов как двухфакторная авторизация, использование защищенных каналов и протоколов, шифрование. Следует отметить, что используются и стандартные методы защиты такие, как сложность пароля, сохранение его в надежном месте. Необходимо учитывать и человеческий фактор, создавая и совершенствуя новые модели смартфонов и новые способы защиты, учитывая, что уровень хакеров тоже растет.

Литература.

1. <http://www.ukraine.com.ua/news/hosting/Vvedena-dvuhfaktornaya-avtorizatsiya.html>
2. http://www.securingthehuman.org/newsletters/ouch/issues/OUCH-201211_ru.pdf
3. <http://bit-plus45.ru/solutions/special/st2fa.php>
4. <http://daily.sec.ru/publication.cfm?pid=35746>
5. http://itc.ua/articles/dvuhfaktornaya_auentifikaciya_pri_udalennom_dostupe_23166/
6. <http://acribia.ru/iblock/services/view/34>
7. <https://support.google.com/a/answer/175197?hl=ru>
8. <https://www.facebook.com/>
9. <http://webtun.com/google/2855-kak-obespechit-maksimalnyu-bezopasnost-svoemu-gmail-akkauntu.html>

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Ж.Н. Нурғали, магистрант гр. ВТМ-12,

научный руководитель: Даненова Г.Т., доцент кафедры ИТБ, к.т.н.

Казахдинский государственный технический университет

100027, Казахстан, г. Караганда, б. Мира, 56, тел. +7 (7212)56-75-98

E-mail: zhasynn@mail.ru

При современном уровне развития компьютерной техники, а также аналитических и численных методов решения инженерных задач появляется возможность моделирования таких сложных процессов, как термомеханические и процессы структурных превращений при сварке и сопутствующих операциях: термической и механической обработке, а также последующих эксплуатационных нагружениях.

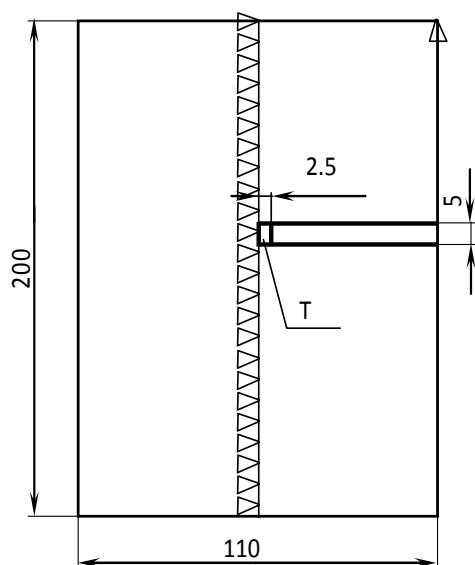


Рис. 1. Расчетная схема

Принципиальным вопросом при моделировании сварки является представление процесса ввода сварочной теплоты в металл [1, 2]. Остаточные напряжения и деформация являются результатом сложных термомеханических процессов, протекающих во время сварочного термического цикла состоящего из этапов нагрева и остывания.

Детально разработанная теория распространения тепла при сварке позволяет успешно решать задачи о распределении температуры в свариваемых деталях при различных условиях сварки.

При определении температурных полей с целью последующего исследования полей напряжений особенно остро стоит задача выбора расчетных схем для описания процесса распространения тепла в свариваемых элементах. Точность ее решения должна быть соизмерима с точностью решения последующей термомеханической задачи, целью которой является определение сварочных напряжений и деформаций в соединении.

В данной работе рассмотрим решение одномерной задачи с мгновенным приложением тепла – пластина закреплена от продольных перемещений с адиабатической теплопроводностью через линию симметрии.

В расчете используется метод конечных элементов, реализованный в программно-методическом комплексе ANSYS. Этот общецелевой программный продукт позволяет моделировать объекты проектирования различных физических полей.

При решении одномерной задачи был отлажен код, подтверждены теплофизические свойства металла, проведены опыты с различным разбиением модели.

Выбран конечный элемент PLANE13, содержащий все необходимые степени свободы, связь физических полей, пригодный для расчета пластического состояния вещества.

Условие конвекции прикладывается к внешней стороне пластины, а на поперечных линиях применяется условие адиабатического теплообмена и отсутствует степень свободы продольного перемещения – для моделирования случая, когда полоса металла находится в середине пластины.

Выбран переходный тип анализа для того, чтобы результаты решения одного шага становились начальными условиями для решения на следующем шаге, это позволит получить всю термомеханическую историю нагружения.

Применяется опция автоматического выбора шага. Таким образом, когда программа ANSYS не найдет решения после определенного количества итераций, шаг времени будет поделен пополам и будет принята новая попытка найти решение в более ранний момент времени.

Решение одномерной задачи с моментальным нагревом шва позволит провести анализ продольных напряжений в пластине.

На рис. 2 показана цветная карта распределения продольных остаточных напряжений. Максимальное значение равно 272 МПа. Минимальное значение в зоне сжатия 47 МПа.



Рис. 2. Продольные остаточные напряжения

На рис. 3 показано распределение остаточных деформаций. Следует отметить, что величины поперечных деформаций – 0,13% на сжатие, продольных остаточных деформаций – 0,2% на сжатие в установившейся части шва и 0,12% на растяжение на концах, что соответствует действительности.

```
NODAL SOLUTION
STEP=40
SUB =1
TIME=493950
EPTOY (AVG)
RSYS=0
DMX =.025192
SMN =-.193E-03
SMX =-.123E-03
```

ANSYS
FEB 17 2014
12:45:11

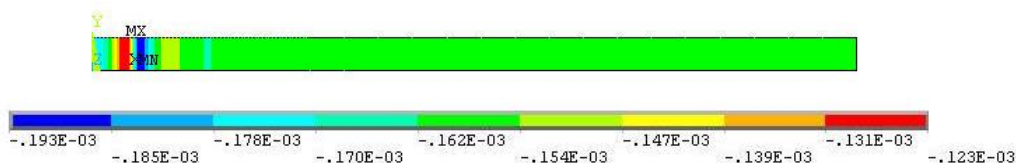


Рис. 3. Продольные остаточные деформации

Исследование показало, что для одномерной оценки остаточных напряжений достаточно воспользоваться моделью в виде узкой полосы из середины пластины для одномерного случая.

Для получения остаточных напряжений и деформаций необходимо уточнить модель, вводя движущийся источник тепла с реальным значением температуры. Для получения четко выраженного объемного распределения напряжений и деформаций, как временных, так и остаточных, необходимо воспользоваться трехмерной моделью пластины, вводя движущийся распределенный источник тепла.

Литература.

1. Кисилев С.Н., Кисилев А.С., Куркин Д.С. и др. Современные аспекты компьютерного моделирования тепловых, деформационных процессов и структурообразования при сварке и сопутствующих технологиях // Сварочное производство. – 1998. - №10. – С. 16–24.
2. Николов Д.Т., Трифонов М.Ц., Букеев А.И. О моделировании тепловых источников при дуговой сварке // Сварочное производство. – 1987. - №6. – С. 34–36.

АНАЛИЗ ПЛАТЕЖНЫХ СИСТЕМ

М.К. Рыспаева, студ., В.А. Эттель, к.т.н., доцент

Карагандинский государственный технический университет

100027, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Ленина, д. 62, кв.2

E-mail: marya.rys1@mail.ru, ettel62@mail.ru

Интернет становится неотъемлемой частью жизни многих Казахстанцев [1]. В свою очередь пользователи Интернета наращивают объективный спрос на совершение онлайн-покупок в Сети, а у предпринимателей появляется дополнительная возможность предоставлять свои услуги новым альтернативным способом. Учитывая, что преимущества использования электронных денег выгодны и безопасны для обеих сторон, то новые виды онлайн-услуг стремительно внедряются в ежедневный обиход каждого пользователя Сети.

Задача: проанализировать этапы регистрации и авторизации в отобранных платежных системах (ПС), провести сравнение списка оказываемых услуг.

Существует большое количество ПС – WebMoney Transfer, Яндекс.Деньги, RUpay, Qiwi. Но, к сожалению, на казахстанском рынке функционируют в основном Российские ПС, а из Казахских – Woopray, Epay.kkb.kz, АЛБ24 (Альянс Банк).

Для анализа рассмотрим WebMoney Transfer и Woopray. В данной статье не рассматриваются ПС Epay.kkb.kz и АЛБ24, так как они основаны, прежде всего, на инфраструктуре банков, и оказывают услуги банковского характера. Платежная система «Woopray» основана с нуля и оказывает услуги различного характера, все время, расширяя спектр оказываемых услуг.

Система WebMoney Transfer начала работу в ноябре 1998 г. WebMoney обеспечивает проведение расчетов в реальном времени посредством учетных единиц - титульных знаков WebMoney [2]. Управление движением титульных знаков осуществляется пользователями с помощью клиентской программы WM Кеерг.

Работа в любой ПС начинается с регистрации и авторизации. Проанализируем авторизацию в клиентской программе WM Кеерг:

1. При запуске программы, открывается окно авторизации, в котором необходимо выбрать место хранения ключей доступа. В нашем случае выбираем E-num Storage. E-num – это система авторизации, предоставляющая доступ к сервисам системы WebMoney Transfer посредством секретного ключа, который хранится в мобильном устройстве. Ключ хранится на удаленном хранилище системы E-num.

2. Введем адрес электронной почты.

3. Выбираем способ авторизации. Предоставляются следующие способы авторизации: вопрос-ответ, используя SMS; вопрос-ответ, используя Приложение; отпечаток пальцев. Остановим свой выбор на «Вопрос-ответ, используя SMS».

Сгенерировав число-вопрос, программа автоматически отправляет SMS на номер мобильного телефона, который был введен изначально при регистрации. После получения числа-ответа, вводим его в поле авторизации «Число-ответ». Далее система проверяет правильность введенных данных, после успешной проверки, введем пароль от кошелька. Кошелек пользователя защищен двухфакторной авторизацией, которая в настоящее время используется во многих мировых сервисах.

Система WebMoney позволяет оплачивать многочисленные товары и услуги через сервисы, подключенные непосредственно на сайтах поставщиков и производителей, а также партнерские сервисы.

Платежная экосистема «Woopray» была образована в 2011 году в г. Караганде [3]. В настоящее время «Woopray» - не просто электронный кошелек, а незаменимый помощник в решении любых повседневных забот, организации досуга, совершении покупок или планировании путешествий.

ПС «Woorpay» является Казахстанской разработкой, поэтому по частоте использования на территории Казахстана впереди Webmoney, так как оказывает услуги, которыми возможно воспользоваться в РК. Легкость пополнения счета большой плюс «Woorpay», так как Webmoney - Российская ПС, которая ориентирована на гражданина РФ.

ПС «Woorpay» не использует программы, подобные WM Keeper, а все транзакции и действия производятся в кошельке, который функционирует на сайте. Это намного упрощает работу пользователя, но и кошелек становится наиболее уязвимым. Существует большое множество способов взломов сайтов.

Интерфейс программы WM Keeper устарел и выглядит угнетающим, а дизайн «Woorpay» выглядит бодрящим, современным и дружелюбным.

Регистрация осуществляется путем ввода на сайте актуального номера мобильного телефона и адреса электронной почты. После подтверждения электронной почты и получения SMS-сообщения с паролем от кошелька, пользователь получает доступ к созданному кошельку. В случае не подтверждения адреса электронной почты и/или номера мобильного телефона в течение 24 часов после направления его пользователю, введенные данные автоматически удаляются, и для получения доступа к системе «Woorpay» процедуру необходимо повторить. После получения доступа к кошельку, пользователю необходимо изменить автоматически сгенерированный ПС «Woorpay» пароль, заполнить вопрос и ответ для сброса пароля. Авторизация осуществляется путем предоставления пользователем своих аутентификационных данных и прохождения процедуры аутентификации. При регистрации также используется двухступенчатая авторизация - ввод сгенерированного SMS-кода.

На основе анализа регистрации/авторизации Российской и Казахстанской ПС, следует сделать выводы по различным функционалу и методам реализации. Но и ПС «Webmoney», и ПС «Woorpay» используют для большей защиты пользователей двухфакторную авторизацию.

После краткого ознакомления с двумя отобранными ПС, рассмотрим сравнительную таблицу по предоставлению услуг – Webmoney Transfer и «Woorpay» (таблица 1)

Таблица 1

Сравнение услуг ПС «WebMoney» и «Woorpay»

№ п/п	Виды услуг	Web-Money	Woorpay
1.	Мобильная связь	+	+
2.	Городской телефон	+	+
3.	Зарубежные операторы	+	+
5.	IP-телефония	+	+
6.	Домены и хостинг	+	+
7.	Кабельное телевидение	+	+
8.	Спутник.телевидение	+	+
9.	ЖКХ	+	+
10.	Образование	+	+
11.	Штрафы и налоги	+	+
12.	Купоны	+	+
14.	Сетевые продажи	+	+
15.	Игры	+	+
16.	Букмекерские конторы и лотереи	+	+
17.	Социальные сети	+	+
18.	Знакомства	+	+
19.	Финансы	+	+
20.	Реклама и объявления	+	+
21.	Охрана и пожарные системы	+	+
22.	Такси	+	+
23.	Другие платежные системы	+	
24.	Благотворительность	+	
25.	Антивирусы	+	
26.	Банковские услуги	+	
27.	Авиабилеты	+	+
28.	Денежные переводы	+	
29.	Оплата штрафов	+	+
30.	Баннерные и медийные сети	+	

На основе анализа данных таблицы, следует сделать выводы: в зависимости от возраста ПС зависит и количество предоставляемых услуг. ПС «Webmoney» предоставляет не только больше услуг, но и в одной услуге присутствует большее количество всех представителей услуг, чем в ПС «Woopray». Причем количество представителей услуг, зависит не только от масштабов самой ПС, но и от размеров, и численности государства. Так, численность РФ в 15 раз больше населения РК, и шире рынок услуг. Но для жителя Казахстана, ПС «Woopray» является удобным инструментом и помощником в повседневных делах, таких, как оплата сотовой связи или услуг ЖКХ. В связи с увеличением количества активных пользователей Интернета, ПС «Woopray» является единственной отечественной платежной системой, которая оказывает разнообразное количество услуг.

Создание такого инструмента, как ПС, занимает много времени и умственных затрат ни одного, а нескольких десятков человек. То есть для реализации технической части ПС необходим отдел программистов. Но и нельзя забывать, что ПС создается для обычного пользователя. В первую очередь ПС - это веб-сервис, и чтобы конкурировать с такими гигантами, как Google, Apple, Facebook, Samsung, Twitter, задающими стиль всем современным приложениям, сервисам и дизайну, необходимо идти в ногу в разработке веб-дизайна, мобильных приложений и, конечно, функционала и маркетинга.

Литература.

1. Дементьева А. Казахская платежная система отвечает всем 10 принципам банка международных расчетов. –<http://www.zakon.kz/4454560-kazakhstanskaja-platezhnaja-sistema.html>
2. https://www.woopay.com/?utm_source=woopay.kz
3. <http://www.webmoney.ru/rus/about/security/>
4. Соломка Ю.И., Шестопалова Я.И. – Тенденции и перспективы развития платежных систем в Интернете

BIG DATA – ТЕХНОЛОГИЯ БУДУЩЕГО

*Ж. Сайлаукызы, ст. преподаватель, Э.Н. Тойшыбек, студент группы СИБ-10-1
Карагандинский государственный технический университет
100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56
E-mail: s_k_zhuldiz@mail.ru, liya_nur93@mail.ru*

На сегодняшний день объем хранения и трансляции данных растет с геометрической прогрессией. В наш век цифровой технологии, масштаб и скорость сбора данных является беспрецедентным и объем данных в нашем обществе достиг того пика, тем самым анализируя большие наборы данных – так называемой Big Data – что станет ключевой основой конкуренции, лежащее в основе новой волны инновации и роста производительности. Увеличение объема информации и рост мультимедиа, будет иметь экспоненциальный рост данных в обозримом будущем. Каждую минуту, каждый день мы создаем: более 204 млн. электронных сообщений; более 2 миллионов поисковых запросов Google; более 100000 твитов; \$ 272 000 тратим на электронную коммерцию; делимся 3600 новыми фотографиями в Instagram и т.д.

Big Data обычно хранятся и организуются в распределенных файловых системах. В общих чертах, информация хранится на нескольких (иногда тысячах) жестких дисках, на стандартных компьютерах. Так называемая «карта» (map) отслеживает, где (на каком компьютере или диске) хранится конкретная часть информации. Для обеспечения отказоустойчивости и надежности, каждую часть информации обычно сохраняют несколько раз, например – трижды. Так, например, предположим, что вы собрали индивидуальные транзакции в большой розничной сети магазинов. Подробная информация о каждой транзакции будет храниться на разных серверах и жестких дисках, а «карта» (map) индексирует, где именно хранятся сведения о соответствующей сделке. С помощью стандартного оборудования и открытых программных средств для управления этой распределенной файловой системой (например, Hadoop), сравнительно легко можно реализовать надежные хранилища данных в масштабе петабайт.

Большая часть собранной информации в распределенной файловой системе состоит из неструктурированных данных, таких как текст, изображения, фотографии или видео. Это имеет свои преимущества и недостатки. Преимущество состоит в том, что возможность хранения больших данных позволяет сохранять «все данные», не беспокоясь о том, какая часть данных актуальна для последующего анализа и принятия решения. Недостатком является то, что в таких случаях для извлечения полезной информации требуется последующая обработка этих огромных массивов данных. Хотя некоторые из этих операций могут быть простыми (например, простые подсчеты, и т.д.), другие

требуют более сложных алгоритмов, которые должны быть специально разработаны для эффективной работы на распределенной файловой системе.

Хранение огромного количества данных, описывающих некоторые легко наблюдаемые события, не всегда приводит к выгодному пониманию реальности. Это в равной мере относится к анализу акций, каналов twitter, медицинских данных, данных CRM, или мониторингу комплекса оборудования для диагностического обслуживания. Например, достоверный список потенциальных покупателей товаров, наряду с демографической информацией, а также информацией о чистой стоимости товаров, могут быть гораздо более ценными для поставщиков, чем массивное хранилище данных о кликах на различных сайтах онлайн-магазинов.

Создание и поддержка хранилищ объемом в терабайт, петабайт и более стало возможным благодаря технологиям распределенных файловых систем. В распределенных системах, вместо хранения данных в одной файловой системе, данные сохраняются и индексируются на нескольких (и даже тысячах) жестких дисках и серверах. Создается также «карта» (map), где содержится информация о том, где именно находятся те или иные данные. Hadoop является одной из самых известных систем, использующих данный подход. Чтобы обработать данные в распределенной файловой системе, необходимо проводить низкоуровневые вычисления, такие как суммирование, агрегирование и др. в месте их физического размещения в распределенной файловой системе. Создать карту (map) проведенных вычислительных алгоритмов и отслеживать локальные результаты. Затем, аккумулировать результаты (reduced). Данный подход и шаблон проведения вычислительных алгоритмов получил название Map-Reduce. На практике, анализ Big Data редко заключается в том, чтобы вычислить статистические итоги по всем данным. Вместо этого значимость Big Data заключается в возможности разделения данных на «микро-сегменты» и с помощью методов data mining и прогностического моделирования построить большое число моделей для небольших групп наблюдений.

Платформа STATISTICA Enterprise и Decisioning предоставляет все возможности для эффективной работы с Big Data, а также позволяет управлять тысячами моделей, применяемых в отношении таких данных. Корпоративные продукты STATISTICA – это интегрированные многопользовательские системы, объединяющие в себе эффективный интерфейс для доступа к центральному многопользовательскому репозиторию данных, средства для совместной работы пользователей и мощный функционал статистического анализа данных, доступный в различных продуктах линейки STATISTICA. Важным преимуществом корпоративных систем является наличие возможностей для совместной работы групп пользователей, доступ к центральному многопользовательскому репозиторию данных. Пользователи Корпоративной версии STATISTICA могут делать общедоступными запросы любой степени сложности, позволяющие получать необходимые данные из центрального хранилища, делать общедоступными сценарии анализов, которые могут коллективно использоваться или модифицироваться. Результаты совместной работы можно разместить как в локальной сети, так и в глобальном пространстве (например, опубликовав HTML-отчеты в Интернете). Кроме того, с дополнительным расширением Enterprise Server пользователи получают возможность работать в STATISTICA с любого компьютера, подключенного к Интернет, просто запустив STATISTICA через web-браузер.

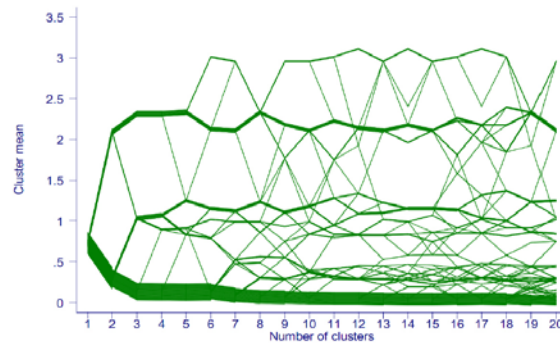
Наглядное представление результатов анализа больших данных имеет принципиальное значение для их интерпретации. Не секрет, что восприятие человека ограничено, и ученые продолжают вести исследования в области совершенствования современных методов представления данных в виде изображений, диаграмм или анимаций. Казалось бы, ничего нового здесь придумать уже невозможно, но на самом деле это не так. В качестве иллюстрации можно привести несколько прогрессивных методов визуализации, относительно недавно получивших распространение.

Облако тегов

Каждому элементу в облаке тега присваивается определенный весовой коэффициент, который коррелирует с размером шрифта. В случае анализа текста величина весового коэффициента напрямую зависит от частоты употребления (цитирования) определенного слова или словосочетания. Позволяет читателю в сжатые сроки получить представление о ключевых моментах сколько угодно большого текста или набора текстов.

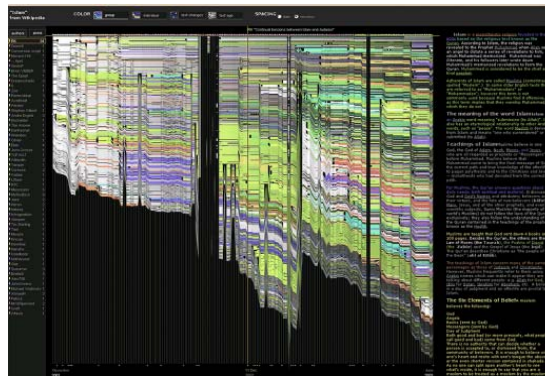
Кластерграмма

Метод визуализации, использующийся при кластерном анализе. Показывает как отдельные элементы множества данных соотносятся с кластерами по мере изменения их количества. Выбор оптимального количества кластеров – важная составляющая кластерного анализа.



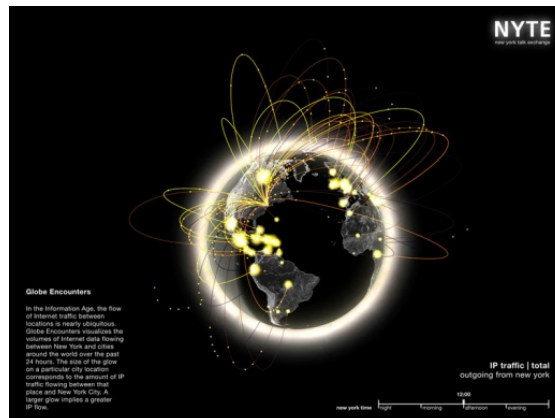
Исторический поток

Помогает следить за эволюцией документа, над созданием которого работает одновременно большое количество авторов. В частности, это типичная ситуация для сервисов wiki и сайта tadviser в том числе. По горизонтальной оси откладывается время, по вертикальной – вклад каждого из соавторов, т.е. объем введенного текста. Каждому уникальному автору присваивается определенный цвет на диаграмме. Приведенная диаграмма – результат анализа для слова «ислам» в Википедии. Хорошо видно, как возростала активность авторов с течением времени.



Пространственный поток

Эта диаграмма позволяет отслеживать пространственное распределение информации. Приведенная в качестве примера диаграмма построена с помощью сервиса New York Talk Exchange. Она визуализирует интенсивность обмена IP-трафиком между Нью-Йорком и другими городами мира. Чем ярче линия – тем больше данных передается за единицу времени. Таким легко, не составляет труда выделить регионы, наиболее близкие к Нью-Йорку в контексте информационного обмена.



Сама по себе концепция «больших данных» не нова, она возникла во времена мэйнфреймов и связанных с ними научных компьютерных вычислений. Как известно, наукоемкие вычисления всегда отличались сложностью и обычно неразрывно связаны с необходимостью обработки больших объемов информации.

Вместе с тем, непосредственно термин «большие данные» появился в употреблении относительно недавно. Он относится к числу немногих названий, имеющих вполне достоверную дату своего рождения — 3 сентября 2008 года, когда вышел специальный номер старейшего британского научного журнала Nature, посвященный поиску ответа на вопрос «Как могут повлиять на будущее науки технологии, открывающие возможности работы с большими объемами данных?». Специальный номер подытоживал предшествующие дискуссии о роли данных в науке вообще и в электронной науке (e-science) в частности.

Можно выявить несколько причин, вызвавших новую волну интереса к большим данным. Объемы информации растут по экспоненциальному закону и ее львиная доля относится к неструктурированным данным. Другими словами, вопросы корректной интерпретации информационных потоков становятся все более актуальными и одновременно сложными. Реакция со стороны ИТ-рынка последовала незамедлительно – крупные игроки приобрели наиболее успешные узкоспециализированные компании и начали развивать инструменты для работы с большими данными, количество соответствующих стартапов и вовсе превосходит все мыслимые ожидания.

Наряду с ростом вычислительной мощности и развитием технологий хранения возможности анализа больших постепенно становятся доступными малому и среднему бизнесу и перестают быть исключительно прерогативой крупных компаний и научно-исследовательских центров. В немалой степени этому способствует развитие облачной модели вычислений.

Впрочем, с дальнейшим проникновением ИТ в бизнес-среду и повседневную жизнь каждого из нас подлежащие обработке информационные потоки продолжают непрерывно расти. И если сегодня большие данные – это петабайты, завтра придется оперировать с экзабайтами и т.д. Очевидно, что в обозримой перспективе инструменты для работы с такими гигантскими массивами информации все еще будут оставаться чрезмерно сложными и дорогими.

Литература.

1. <http://events.cnews.ru/>;
2. <http://www.cnews.ru/>;
3. <http://www.statsoft.ru/>;
4. «Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think», Viktor Mayer-Schönberger, Kenneth Cukier;
5. <http://www.technologyreview.com/>;
6. <http://ru.wikipedia.org/>;
7. <http://www.information-age.com/>;
8. <http://www.tadviser.ru/>.

СИГНАТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Ж. Сайлаукызы, ст. преподаватель, Э.Н. Тойшыбек, студент группы СИБ-10-1

Карагандинский государственный технический университет

100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56

E-mail: s_k_zhuldiz@mail.ru, liya_nur93@mail.ru

Аналоговые схемы проверяются путем подачи известных тест-наборов и контроля каждого узла в тракте распространения сигнала с помощью осциллографа. При обнаружении нестандартного сигнала подозрение падает на ту часть схемы, которая управляет узлом, и именно она исследуется более тщательно. В принципе таким же образом можно проверять и цифровые схемы: подавать известные тест-наборы и контролировать каждый узел в тракте распространения сигнала. Однако цифровые системы радикально отличаются от аналоговых систем не только самой природой сигналов, но и наличием гораздо большего числа сигнальных входов. Если бы цифровой системой можно было

управлять таким образом, что на всех ее входах действовал четко определенный тест-набор, то каждый узел можно было бы проверить на фиксированный набор событий. В любом узле при каждом выполнении стимулирующей программы возникает один и тот же набор, и его можно использовать для проверки правильной работы узла. Если измеряемый набор отличается от ожидаемого, следует подозревать наличие отказа между данным узлом и стимулируемыми точками системы. При заданном фиксированном тест-наборе измеряемый набор в любом узле оказывается уникальным, и его можно использовать для контроля по принципу «проходит/не проходит». Измеряемая реакция узла на известные тест-набор называется «сигнатурой» (т.е. подписью) по аналогии с уникальностью рукописных подписей у людей. Рассмотренный принцип лежит в основе целой области цифрового тестирования, называемой сигнатурным анализом.

Сигнатурный анализ разработан на основе двух применявшихся ранее способов контроля ошибок; первым является способ проверки логических узлов в цифровой системе, называемой счетом переходов, а вторым – способ контроля ошибок, называемый циклическим избыточным контролем. Сигнатурный анализ как бы моделирует первый способ, но действует аналогично второму способу.

Структурная схема простого сигнатурного анализатора приведена на рис. 1.

Схема иллюстрирует несколько интересных особенностей. 16-разрядный регистр сдвига реализован на двух микросхемах КР1533ИР8, а цепь обратной связи построена на двухвходовых элементах исключающего ИЛИ 1533ЛП5. Входной поток данных для улучшения формы сигналов подается на триггер Шмитта.

В приборе широкого назначения необходимо иметь возможность устанавливать для сигналов пуска, останова и синхронизации любой активный фронт – нарастающий или спадающий. Например, в одном тесте нужен сигнал пуска с активным нарастающим фронтом, а в другом тесте он должен запускать операции спадающим фронтом. Возможность задания активного фронта сигнала обеспечивается входными элементами исключающего ИЛИ, через которые сигналы проходят в схему управления. В случае сигнала пуска переключатель S1 подсоединяется к земле или к источнику питания Vcc. Когда ключ замкнут на землю, на выходе элемента исключающего ИЛИ повторяется входной сигнал пуска. Если же S1 подключен к Vcc, сигнал на выходе представляет собой инверсию входного сигнала. Предположим, что для инициирования схемы управления всегда требуется нарастающий фронт сигнала. Тогда для удовлетворения этого требования с помощью S1 можно выбрать либо нарастающий фронт сигнала (S1 подключен к земле), либо спадающий фронт сигнала (S1 подключен к Vcc).

Сигнатурный анализатор можно использовать для проверки ядра системы, образуя сигнатуры узлов в режиме свободного счета.

При проведении любого теста с применением сигнатурного анализатора необходимо решить, какие сигналы от проверяемой системы следует использовать в качестве сигналов пуска, останова и синхронизации. В промышленных сигнатурных анализаторах зонд для касания узла имеет логический пробник, который дает визуальную индикацию активности. Конечно, индикатор пробника не дает возможности определить природу действий в узле, но он показывает наличие или отсутствие сигналов в проверяемом узле.

Предположим, что исследуется система с 8-битным микропроцессором, имеющим 16-битную шину адреса. В цикле свободного счета на шине адреса возникают все двоичные наборы, которые циклически повторяются. Благодаря периодичности такой тип активности идеально подходит для сигнатурного анализа. На старшей линии A₁₅ шины адреса действует низкий уровень для одной половины всех адресов и высокий для другой половины. Следовательно, между соседними нарастающими фронтами сигнала на линии A₁₅ находится один полный цикл шины адреса. Сигнал с этой линии можно использовать как сигналы пуска и останова анализатора. Первый из них осуществляет запуск, а второй - останов. Остаток, образованный в регистре сдвига между этими событиями, подается на индикатор в качестве сигнатуры проверяемого узла. В режиме свободного счета все команды осуществляют считывание из памяти, и сигналы для анализатора можно взять с линии READ. Анализатор настраивается на нарастающие фронты входов пуска, останова и синхронизации, поэтому данные синхронно проходят через регистр сдвига по заднему фронту сигнала READ в течение одного полного цикла шины адреса. Необходимые подключения показаны на рис. 2.

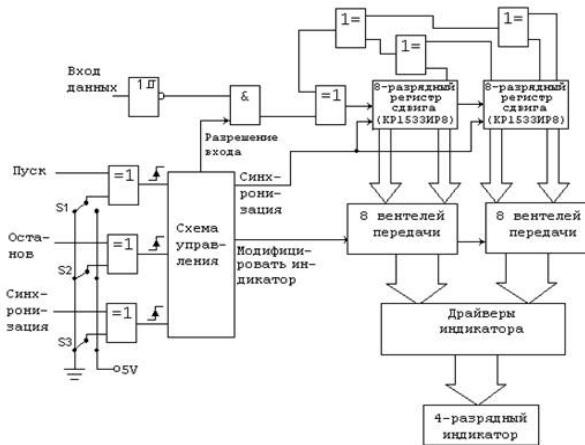


Рис. 1. Простой сигнатурный анализатор

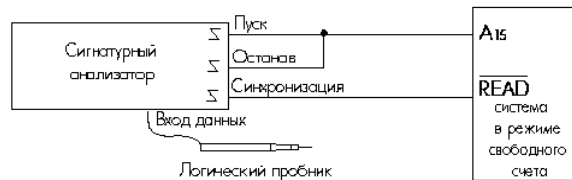


Рис. 2. Получение сигнатур в режиме свободного счета

До взятия сигнатур от узлов в системе сам сигнатурный анализатор и подключения входных сигналов контролируются по сигнатурам земли и питания V_{cc} . Регистр сдвига на анализаторе инициализируется на нуль до регистрации любых данных. Когда пробник касается земли, вход данных всегда находится в состоянии логического нуля 0, которое не изменяет начального состояния регистра сдвига. По окончании цикла регистрации данных остаток в регистре сдвига будет нулевым. Это состояние может изменить только входной сигнал логической 1, которого, очевидно, не может быть при контроле сигнатуры земли. Следовательно, земля всегда дает сигнатуру 0000, которую можно считать ее «характеристической сигнатурой». Однако положительное питание V_{cc} всегда воспринимается как состояние логической 1, которое изменяет начальное состояние регистра сдвига. Остаток, образующийся по окончании регистрации данных, зависит от числа состояний синхронизации между сигналами пуска и останова и будет различным при изменении запускающих сигналов. При конкретном подключении сигналов пуска, останова и синхронизации сигнатура V_{cc} будет одной и той же, поэтому ее называют «характеристической сигнатурой» для данного подключения входов. Но, разумеется, она будет получаться различной при других подключениях управляющих входов и (или) выборе других активных фронтов. Когда от проверяемого узла получается такая же сигнатура, как и от V_{cc} , может оказаться что из-за отказа он закорочен на шину питания V_{cc} . Однако иногда и от исправных узлов получается такая же сигнатура, как и характеристическая сигнатура V_{cc} . Проще всего различить эти две ситуации по индикатору логического пробника – в исправном узле он вспыхивает, показывая наличие сигналов в узле. Если же индикатор не вспыхивает, следует предположить наличие отказа.

Сигнатурный анализ представляет собой простой способ тестирования, заключающийся в проверке отдельных узлов схемы и сравнения их сигнатур с документированными значениями. Умелое его применение позволяет быстро идентифицировать неисправность в системе, а затем локализовать неисправный компонент.

Для сигнатурного анализа очень важна хорошая документация. Любые модификации в системе влекут за собой необходимость повторного получения всех сигнатур в системе, поэтому при ее модификациях и усовершенствованиях необходимо составлять скорректированные таблицы сигнатур. Важность поддержания своевременно обновляемой документации невозможно переоценить. Часто системы модифицируются, а изменения в принципиальные схемы не вносятся. Это обстоятельство само по себе создает проблемы тестирования, но если не корректируются и таблицы сигнатур, сам способ оказывается неработоспособным и бесполезным, так как полученные сигнатуры не имеют смысла без соответствующих правильных документированных значений.

Литература.

1. Уильямс Г.Б. Отладка микропроцессорных систем: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Микропроцессоры: системы программирования и отладки / В.А.Мясников, М.Б.Игнатъев, А.А.Кочкин, Ю.Е.Шейнин; Под ред. В.А.Мясникова, М.Б.Игнатъева. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Фергусон Дж., Макари Л., Уильямз П. Обслуживание микропроцессорных систем: Пер. с англ.– М.: Мир, 1989.
4. Кирьянов К.Г., Соловейчик Э.Б. К проектированию РЭА, ориентированной на диагностику сигнатурным анализом. – Техника средств связи. Сер. Радиоизмерительная техника, 1980, вып. 1 (26), с 9 - 84.
5. Пароль Н.В., Кайдалов С.А. Знакосинтезирующие индикаторы и их применение: Справочник. – М.: Радио и связь, 1989.
6. И.И.Петровский, А.В.Прибыльский, А.А.Троян, В.С.Чувелев. Логические ИС КР1533, 1534. Справочник. В двух частях. Часть 1, 2.
7. Пухальский Г.И., Новосельцева Т.Я. Цифровые устройства: Учебное пособие для вузов.– СПб.: Политехника, 1996.

О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ ОБОЛОЧЕЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ, НЕСУЩЕЙ ПРИСОЕДИНЕННОЕ ТВЕРДОЕ ТЕЛО ПРИ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЯХ

С.В. Серёгин, аспирант

ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», г. Комсомольск-на-Амуре

681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27, тел. (4217) 241–141;

E-mail: Seregin-KomsHome@yandex.ru

Экспериментально-численным методом в среде пакета MSC «NASTRAN» исследовано напряженно-деформированное состояние (НДС) круговой цилиндрической оболочки с присоединенным твердым телом. Выявлено, что собственные колебания таких включений значительно влияют на динамическую прочность оболочек.

Рассмотрим круговую цилиндрическую оболочку со следующими геометрическими и физическими характеристиками: $R/h = 200$, где $R = 5\text{ м}$ – радиус оболочки, h – толщина стенки; $L/R = 2,5$, L – длина оболочки; $\rho = 7800\text{ кг/м}^3$ – массовая плотность; $E = 2 \times 10^{11}\text{ Н/м}^2$ – модуль Юнга. Число конечных элементов – 10000. На торцевых сечениях оболочки реализованы условия свободного опирания. В качестве присоединенного тела принят стержень сечением $a = b = 0,1\text{ м}$ и относительной длиной $l/R = 0,1; 0,2; 0,6$.

Результаты динамического расчета представлены на рис 1.

Присоединенная масса — это тот фактор динамической асимметрии, который приводит к расщеплению изгибного частотного спектра оболочки [1,2]. Большая из расщепленных частот, практически, не изменяет своего значения, и равна частоте колебаний идеальной (без массы) оболочки. Меньшая же – снижается по сравнению со случаем идеальной оболочки, причем, наибольшее снижение частоты выявлено в случае моделирования конструкции с присоединенным стержнем. Формы колебаний, в случае крепления сосредоточенной массы или стержня, сопровождаются малыми радиальными колебаниями. То есть: инерционная неоднородность приводит не только к связанности сопряженных изгибных форм, но и к взаимодействию низкочастотных изгибных колебаний оболочки с малозаметными высокочастотными радиальными колебаниями. Частоты свободных колебаний в обоих случаях не зависят от места крепления сосредоточенной массы или стержня.

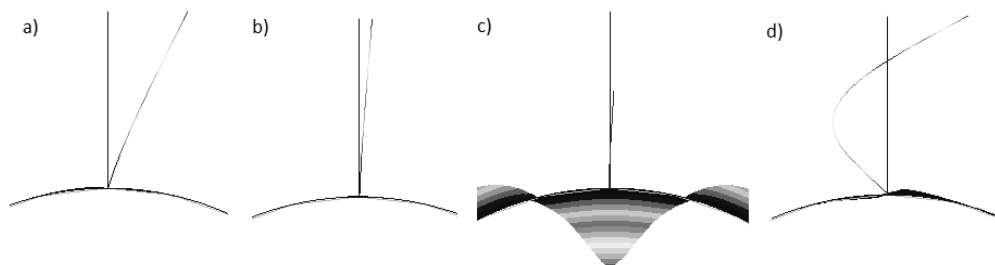


Рис. 1. Свободные колебания системы оболочка – присоединенное твердое тело
($\omega_1 = 0,84\text{ Гц}$, $\omega_2 = 0,95\text{ Гц}$, $\omega_3 = 5,7\text{ Гц}$, $\omega_4 = 7,5\text{ Гц}$)

Следует отметить, что НДС оболочечной конструкции значительно зависит от собственных колебаний присоединенного к ней твердого тела. НДС такой системы, оболочка – присоединенное твердое тело зависит от геометрических, физических параметров и от форм колебаний присоединенного к ней твердого тела, выбираемой автором при расчете конструкции. При взаимодействии такой системы в местах сопряжения оболочки со стержнем, возникают напряжения $\delta_n(\omega_n)$, которые влияют на динамическую прочность цилиндрической оболочки. Так, относительные напряжения в оболочке $\delta_1(\omega_1)/\delta_3(\omega_3)$ при первой форме колебаний стержня, рис. 1 а), порядка 8% меньше, по сравнению со случаем относительных напряжений $\delta_4(\omega_4)/\delta_3(\omega_3)$, чем при второй форме колебаний стержня, рис. 1 d). Для нахождения относительных напряжений выбран именно третий вариант, рис. 1 с), поскольку, колебание твердого тела производит наибольшее влияние на формообразующие волны у оболочки, вследствие, чего в окружном направлении образуется $n = 6$ волн – при низшей частоте.

В результате исследования можно сделать следующие выводы:

1. Напряженно-деформированное состояние (НДС) оболочки зависит от геометрических и физических параметров, а также от форм колебаний присоединенного к ней твердого тела. Переход к более простой расчетной схеме (замена присоединенного тела на сосредоточенную массу) может привести к погрешностям при определении динамической прочности оболочечной конструкции.
2. С увеличением длины присоединенного к оболочке тела (отдаление центра масс присоединенного тела от оболочки) влияние его инерции становится более существенной.

Литература.

1. Лейзерович Г.С., Приходько Н.Б., Серёгин С.В. О влиянии малой присоединенной массы на колебания разнотолщинного кругового кольца // Орел: Госуниверситет УНПК. Строительство и реконструкция. 2013. №4. – С. 38-41.
2. Лейзерович Г.С., Приходько Н.Б. Серёгин С.В., О влиянии малой присоединенной массы на расщепление частотного спектра кругового кольца с начальными неправильностями. // Строительная механика и расчет сооружений, 2013. №6. С. 49 – 51.

АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КЛИНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

М.А. Тараник, аспирант, Г.Д. Копаница, к.т.н., доц.

Институт кибернетики. Томский политехнический университет

634034, г. Томск ул. Советская 84/3, тел. (3822) 42-07-60

E-mail: taranik@tpu.ru

Анализируя деятельность лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), можно выделить ряд задач различного уровня. Примером глобальной задачи является снижения показателя смертности населения [9]. Задачами верхнего уровня можно обозначить задачи, связанные с управлением ЛПУ, предполагающие принятия решений относительно развития клинического учреждения. Сюда также можно отнести, например, задачи минимизации времени ожидания приема медицинского специалиста [9]. Третий тип задач связан непосредственно с работой медицинского специалиста, где одной из актуальных является задача точного и своевременного диагностирования заболевания. Качественное решение задач последнего типа определяет эффективность функционирования ЛПУ и постоянно требует новых автоматизированных подходов. Среди таких подходов особое внимание уделяется интеллектуальным медицинским системам, которые являются симуляторами медицинских специалистов [6,9,14]. Данные системы получили широкое применение и активно используются при решении клинических задач, обеспечивая помощь в принятии решений медицинскому специалисту. Использование данных систем обеспечивает эффективное решение задач диагностирования [1, 3, 5, 6, 9, 10, 13, 17], прогнозирования [2], классификации [4, 7, 8, 11], управления [16], обучения [18], оптимизации плана лечения [12]. Также выделяют системы-агенты [14, 15], которые обеспечивают поддержку функционирования клиник.

Поиск материала для настоящего исследования осуществлялся в информационно-поисковых системах, таких как «Science Direct», «Pubmed» и «Springerlink». По запросу «Intellectual systems in medicine» был сформирован набор из 96 источников, в которых упоминаются интеллектуальные медицинские системы. Следующим шагом был анализ аннотаций отобранных работ. Итогом данного анализа стал список из 46 подходящих источников, посвященных разработкам интеллектуальных

медицинских систем, в которых четко определена область применения интеллектуальной системы, описаны задачи и методы. В настоящем исследовании отражен анализ 18 источников.

В анализируемых источниках [1-18] отмечается высокая эффективность разработанных интеллектуальных систем. Среди показателей эффективности выделяют специфичность (Specificity), чувствительность (Sensitivity) и точность (Accuracy) [1,4, 5, 8, 10, 13]. Разработанные интеллектуальные системы также обладают высокой степенью актуальности, потому как решают важные прикладные клинические задачи. Большое внимание уделяется проблемам онкологии, среди анализируемых работ имеются системы классификации пациентов с раком простаты [8], обнаружения кишечной опухоли [13], а также диагностирования рака прямой кишки [17]. В [12] отражена система, способная оптимизировать план лечения химиотерапией. Среди анализируемых источников несколько работ посвящены решению клинических задач, связанных с сердечной мышцей. Представленная в [1] система направлена на диагностику порока клапана сердца, а в [5] – ишемической болезни сердца. В [4] описан классификатор, assisting в прогнозировании ресинхронизирующей терапии.

Характеризуя задачи представленных систем в целом, можно заключить, что большинство решают задачи диагностирования [1, 3, 5, 6, 9, 10, 13, 17], чуть меньше решают задачи классификации [4, 7, 8, 11], прогнозирования [2], управления [16], обучения [18] и оптимизации плана лечения [12]. Также представлены системы-агенты [14, 15]. Таким образом, выявленные задачи интеллектуальных систем можно представить в следующем виде (рис. 1).

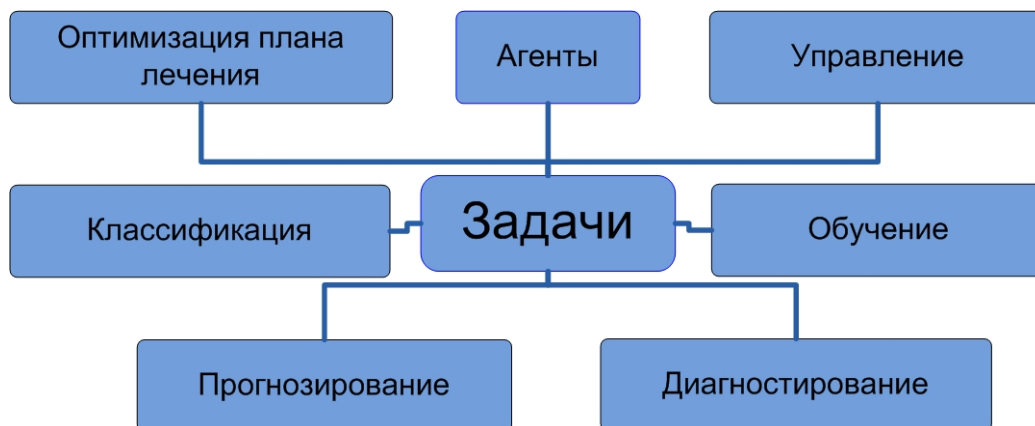


Рис. 1. Задачи интеллектуальных систем

Другим основанием для классификации интеллектуальных систем в анализируемых источниках является алгоритм логического вывода (Inference engine), он является ядром системы [6]. В представленных исследованиях встречаются как единичные методы логического вывода, так и их комбинации. Применение составного алгоритма логического вывода способствует оптимизации интеллектуальной системы, повышая ее эффективность, а также реализует решение проблем, которые возникают при использовании методов логического вывода по отдельности. Пример использования составного метода логического вывода представлен в [1, 7, 14]. Так метод Fuzzy k-NN, используемый в [1] является модификацией алгоритма k-NN. Алгоритм k-NN не детерминирует важность, вес, а также мощность связи различных узлов [1], что стало причиной применения фаззификации для данного алгоритма и позволило устранить недостатки классического метода. Более того, Fuzzy k-NN не требует процедуры предварительной обработки данных (Preprocessing). Castillo и др. используют несколько методов, каждый из которых в отдельности является самостоятельным классификатором, а именно, Fuzzy k-NN, Multilayer Perceptron with Gradient Descent and Back propagation, Multilayer Perceptron Conjugate Gradient Back propagation. Выходные данные каждого классификатора являются входными для конечного классификатора, использующего алгоритм Mamdani [7]. Такая схема работы обеспечивает высокую точность полученных результатов классификации нарушений сердечного ритма.

Среди систем, в которых используется единичный метод логического вывода, представлены следующие алгоритмы: Fuzzy logic [5,6,8-10], Support Vector Machine (SVM) [4, 13], Bayesian Network [3, 14, 18], Case-based Reasoning (CBR) [15, 16], методы Data Mining [2, 12]. Описанные методы отражены на рис. 2.



Рис. 2. Методы логического вывода

Метод опорных векторов (SVM) предназначен для решения задач бинарной классификации. Суть метода состоит в построении оптимальной разделяющей гиперплоскости n мерного пространства, разделяющей классы наилучшим образом. Наилучшей построенной гиперплоскостью считается та, расстояние от которой до каждого из классов максимально. Среди достоинств метода отмечают, что multiple parameters can be coordinated together to make a classified result [4].

Байесовские сети (Bayesian Networks) представляют собой модели событий и процессов на основе объединения некоторых результатов теории вероятностей и теории графов [19].

Нечеткая логика (Fuzzy logic) является самым распространенным методом логического вывода. В [6, 9] отмечается, что процесс диагностирования является трудоемким, так как включается много неопределенности. Это связано с тем, что пациент не может точно описать симптоматику заболевания, а медицинские специалисты могут неверно воспринять информацию, неточно ее интерпретировать, либо не заметить при осмотре. Также существует невозможность прогноза развития болезни, потому как одни и те же симптомы могут быть характерны для различных болезней. При использовании данного метода выделяют следующие компоненты системы: База знаний (Knowledge base), База данных (Data Base), Фаззификатор (Fuzzyfier), Дефаззификатор (Defuzzyfier) и Модуль логического вывода (Inference engine). Преимуществом данного метода является то, что он имеет сходство с человеческим процессом принятия решения, а также его способностью работать с нечеткими данными для принятия решений [6, 9].

Алгоритм MSapriori является модификацией алгоритма Apriori [21], который использует ассоциативные правила для решения задач классификации. Данная модификация заключается во введении множественной минимальной поддержки (multiple minimum support), предложенной в [20]. В отличие от единичной минимальной поддержки (single minimum support), которая используется в классическом алгоритме, пользователь может задавать множественную.

Case-based reasoning используется для реализации интеллектуальных систем, основанных на прецедентах (опыте), где результат вывода зависит от предыдущих результатов. В [14] отмечено, что недостатком данного метода является наличие многомерных данных.

В анализируемых источниках [1-18] неоднократно отмечается важность диагностирования заболеваний на ранней стадии. Это, прежде всего, связано с более легкой ликвидацией заболевания, пока оно не успело развиваться. Более того, это положительно отразится на временных и финансовых затратах и улучшит результат лечения [6]. Таким образом, разработка и внедрение интеллектуальных медицинских систем способно повысить эффективность не только процесса диагностирования, но и также остальных процессов, входящих в оказание медицинской помощи, что приводит к положительной динамике функционирования всего ЛПУ, а также возможности решения глобальных задач, таких как снижения показателя смертности и т.д. Следовательно, интеллектуальные системы способны эффективно решать медицинские задачи различных уровней, включая глобальные задачи, задачи управления, а также конкретные прикладные задачи медицинского специалиста.

В настоящей статье проведен анализ литературных источников [1-18], содержащих исследования разработок интеллектуальных медицинских систем, решающих различные клинические задачи и использующие различные методы логического вывода. Анализ показал, что самая популярная решаемая интеллектуальной системой является задача диагностирования. Также данные системы решают и другой спектр задач, такие как прогнозирование, управление, обучение, классификация, оптимизация плана лечения, а также существуют системы-агенты. Среди методов логического вывода наиболее распространенным является метод нечеткой логики (Fuzzy logic). Данный метод является наиболее тривиальным в использовании, а также обладает высокой эффективностью. Таким образом, он может быть применен для эффективного решения клинических задач различного уровня.

Литература.

1. Sengur A. An expert system based on principal component analysis, artificial immune system and fuzzy k-NN for diagnosis of valvular heart diseases // *Computers in Biology and Medicine*. – 2008. – № 38. – P. 329–338.
2. Yeh J, Wu T, Tsao C. Using data mining techniques to predict hospitalization of hemodialysis patients // *Decision Support Systems*. – 2011. – № 50. – P. 439–448.
3. Arsene O, Dumitrache I, Miha I. Medicine expert system dynamic Bayesian Network and ontology based // *Expert Systems with Applications*. – 2011. – № 38. – P. 15253–15261.
4. Chao P, Wang C, Chan H. An intelligent classifier for prognosis of cardiac resynchronization therapy based on speckle-tracking echocardiograms // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2012. – № 54. – P. 181–188.
5. Pal D, Mandana K, Pal S. [etc.]. Fuzzy expert system approach for coronary artery disease screening using clinical parameters // *Knowledge-Based Systems*. – 2012. – № 36. – P. 162–174.
6. Uzoka F, Osuji J, Obot O. Clinical decision support system (DSS) in the diagnosis of malaria: A case comparison of two soft computing methodologies // *Expert Systems with Applications*. – 2011. – № 38. – P. 1537–1553.
7. Castillo O, Melin P, Ramirez E, Soria J. Hybrid intelligent system for cardiac arrhythmia classification with Fuzzy K-Nearest Neighbors and neural networks combined with a fuzzy system // *Expert Systems with Applications*. – 2012. – № 39. – P. 2947–2955.
8. Castanho M, Hernandez F, Re A, Rautenberg S, Billis A. Fuzzy expert system for predicting pathological stage of prostate cancer // *Expert Systems with Applications*. – 2013. – № 40. – P. 466–470.
9. Samuel O, Omisore M, Ojokoh B. A web based decision support system driven by fuzzy logic for the diagnosis of typhoid fever // *Expert Systems with Applications*. – 2013. – № 40. – P. 4164–4171.
10. Anooj P. Clinical decision support system: Risk level prediction of heart disease using weighted fuzzy rules // *Journal of King Saud University – Computer and Information Science*. – 2012. – № 24. – P.27–40.
11. Puppe B, Puppe F. MED1: An Intelligent Computer Program for Thoracic Pain Diagnosis. – *Klin Wochenschr*. – 1985. – № 63. – P.511–517.
12. Le A, Liu B, Schulte R, Huang H. Intelligent ePR system for evidence-based research in radiotherapy: proton therapy for prostate cancer // *International of Computer Assisted Radiology and Surgery*. – 2011. – № 6. – P.769–784.
13. Iakovidis D, Maroulis D, Karkanis S. An intelligent system for automatic detection of gastrointestinal adenomas in video endoscopy // *Computers in Biology and Medicine*. – 2006. – № 36. – P. 1084–1103.
14. Paz J, Bajo J, Lopez V, Corchado J. Biomedic Organizations: An intelligent dynamic architecture for KDD // *Information Sciences*. – 2013. – № 224. – P. 49–61.
15. Carchado J, Bajo J, Paz Y, Tapia I. Intelligent environment for monitoring Alzheimer patients, agent technology for health care // *Decision Support Systems*. – 2008. – № 44. – P. 382–396.
16. Haghghi P, Burstein F, Zaslavsky A, Arbon P. Development and evaluation of ontology for intelligent decision support in medical emergency management for mass gatherings // *Decision Support Systems*. – 2013. – № 54. – P. 1192–1204.
17. Shi J, Qiang Su, Zhang C, Haung G, Zhu Y. An intelligent decision support algorithm for diagnosis of colorectal cancer through serum tumor markers // *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. – 2010. – № 100. – P. 97–107.
18. Suebnukarn S, Haddawy P. A Bayesian approach to generating tutorial hints in a collaborative medical problem-based learning // *Artificial intelligence in Medicine*. – 2006. – № 38. – P. 5–24.
19. Mahdi R., Madduri A.S., Wang G., Strulovici-Barel Y., Salit J., Hackett N.R., Crystal R.G., Mezey J.G. Empirical Bayes conditional independence graphs for regulatory network
20. recovery // *Bioinformatics*. 2012. Vol. 28. № 15. — pp. 2029-36.
21. Liu B., Hsu W., Ma Y. Mining association rules with multiple minimum support // *Proc. Of ACM SIGKDD International Conference on knowledge Discovery and Data Mining (KDD-99)*. – 1999. – San Diego. – CA. – USA.
22. Hanguang Li, Yu Ni. Intrusion Detection Technology Research Based on Apriori Algorithm // *Physics Procedia*. – 2012. – № 24. – P. 1615 – 1520.

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕОРИИ СИСТЕМ

*О.Б. Березовская, ст. преподаватель, А.А. Циванюк, студент гр. В-17390,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)6 -44 -32
E-mail: gileno@mail.ru*

Слово «система», греческого происхождения и имеет много значений: сочетание, организм, устройство, организация, союз, строй, руководящий орган. Дословно – учение о строительстве.

Метафоризация слова «система» была начата еще Демокритом. Демокрит положил начало материалистическому атомизму, определив фундаментальные категории естествознания – целое, элементы и связь между ними. С этого момента стал формироваться системный взгляд на все предметы, окружающие человека в природе.

В античной философии термин «система» связывали с упорядоченностью и целостностью объектов природы. В сочинениях Платона и Аристотеля уделялось внимание особенностям системы знания и системе элементов мироздания.

В эпоху Возрождения понятие бытия как космоса сменилось на концепцию системы мира – образования со своей организацией, иерархией и закономерностями. В это время зародились научные дисциплины, апеллирующие к целостности мироздания. К их числу относится астрономия.

Гипотеза системной организации знания, сформировавшаяся еще в Средние века, была основательно разработана в немецкой классической философии.

Канту принадлежит приоритет четкого осознания системности научно-теоретического знания и выявления конкретных процедур и средств создания системного знания. И. Г. Ламберт утверждал, что «всякая наука, как и ее часть, предстает как система, поскольку система есть совокупность идей и принципов, которая может трактовать себя как целое. В системе должны быть субординация и координация». Гегель предложил историческую трактовку становления системы по принципу движения от абстрактного к конкретному.

Современные исследователи продолжают развивать идеи своих предшественников. Так, физиолог П. К. Анохин в работе «Теория функциональной системы» привел 12 формулировок понятия «система», данных разными авторами. В учебнике В. Н. Волковой и А. Л. Денисова «Основы теории систем и системного анализа» авторы говорят уже о 30 определениях понятия «система». Сейчас таких формулировок значительно больше. Анализ многочисленных определений свидетельствует об изменении понятия «система» как по форме, так и по содержанию. Это происходило по мере развития теории и ее приложений для решения проблем управления в различных областях.

Формирование теории систем происходило в процессе обобщения знаний предметных отраслей наук и синтеза общих закономерностей образования, функционирования и поведения систем в природе, обществе и технике. Системные представления об окружающей человека действительности развивали многие великие ученые: Н. Коперник, Г. Галилей, И. Ньютон, К. Линней, И. Кант, Г. Гегель, К. Маркс, В. Ленин, А. Богданов, Л. фон Берталанфи и многие другие.

Как наука теория систем стала развиваться только в начале XX в. Французский химик А. Л. Ле-Шателье сформулировал закон подвижного равновесия, который звучал так: «Если система равновесия подвергается воздействию, изменяющему какое-либо из условий равновесия, то в ней возникают процессы, направленные так, чтобы противодействовать этому равновесию».

Этот закон известен биологам как закон выживания, в соответствии с которым выживают наиболее приспособленные особи, обеспечивающие подвижное равновесие с окружающей средой.

Теория систем развивалась как одна из ветвей философии, внутри которой не утихали принципиальные споры. Сторонники атомизма считали, что части существуют без целого. Приверженцы холизма, наоборот, утверждали, что целое существует без частей. Эмерджентисты обосновывали, что части существуют до целого, а структуралисты стояли на позиции, что целое и части зависят друг от друга. Поскольку спор шел о принципах, то договориться «спорщикам» не удалось бы до наших дней.

Этапы развития системного подхода с XV по XX в. представлены в табл. 1.

Динамика формирования теории систем		
Век	Имя исследователя	Содержание системных взглядов на мир
XV	Н. Коперник	Гелиоцентрическая система Вселенной
XVI	Г. Галилей	Мир бесконечен. Материя вечна и состоит из молекул, молекулы из атомов.
XVII	И. Ньютон	Система взаимодействия тел (закон всемирного тяготения). Система телескопа.
	К. Линней	Система растительного и животного мира. Соподчинение между категориями: класс, отряд, род, вид, вариация.
XVIII	И. Кант	Бытие как система, состоящая из души, мира, Бога и сознания, при этом разумная система диалектична.
	Г. Гегель	Абсолютная идея как система категорий – бытие и небытие, количество и качество и т.д., - обретает сознание и волю только в человеке. Мотор системы – диалектика.
XIX	К. Маркс	Общество как развивающаяся социальная система (исторический материализм). Система познания мира (диалектический материализм).
	В.И. Ленин	Коммунизм как система, подсистемой которого является социализм.
XX	А.А. Богданов	Тектология – всеобщая организационная наука. Несистем не бывает. Все системно.
	Л. фон Бергаланфи	Учение о целостности организма. Обобщенная системная концепция математического описания различных типов систем.

В XX столетии можно выделить следующие этапы. *1920-е гг.*: всеобщая организационная наука (тектология) – первый вариант общей теории систем. Основателем современной теории систем можно считать революционера А. А. Малиновского (А. А. Богданов), который в 1911–1925 гг. издал свой труд в 3 томах под названием «Всеобщая организационная наука (тектология)», где отмечается, что уровень организации тем выше, чем сильнее свойства целого отличаются от простой суммы свойств его частей. Последнее является одним из основных свойств любой системы.

Тектология – общая теория организации (дезорганизации), наука об универсальных типах структурного преобразования систем.

Богданов дал характеристику соотношения частей и элементов, показав, что целое превосходит сумму его частей.

Исходным моментом всеобщей организационной науки, по Богданову, являлось признание необходимости подхода к изучению любого явления с точки зрения его организации. Он рассматривал организацию как процесс постоянных преобразований, базирующихся на непрерывной смене состояний равновесия. По его мнению, только активное использование системой внешней среды может обеспечить сохранность системы. Но в то же время внешняя среда представляет собой источник неопределенности системы. Богданов сформулировал тезис о необходимости сочетания децентрализации и централизации, специализации и интеграции в организациях.

Богданов обосновал условия организованного и неорганизованного порядка в системе за счет возможных вариантов реакции самой системы на воздействия факторов внешней среды. При этом любое воздействие из внешней среды на систему может вызывать три типа реакции как в самой системе, так и в ее элементах, связях и отношениях: активную организованность, дезорганизованность и гармонизацию.

1930–40-е гг.: Философ Л. фон Бергаланфи построил общую теорию систем, сформулировал модель открытой системы. Бергаланфи определил общую теорию систем «как совокупность принципов исследования систем и набор отдельных эмпирически выявленных изоморфизмов в строении и функционировании разнородных системных объектов». По Л. фон Бергаланфи, система – это комплекс взаимодействующих элементов, совокупность элементов, находящихся в определенных соотношениях друг с другом и со средой.

1950-е гг.: развитие кибернетики (работы Н. Винера) и проектирование автоматизированных систем управления. У. Эшби предложил методы исследования, основанные на рассмотрении систем

с позиций модели «черного ящика», а Н. Винер создал теорию кибернетики, в которой обосновал законы информационного взаимодействия элементов в процессе управления системой. Практической реализацией информационных идей управления стало развитие компьютерной техники и современных методов информационного моделирования систем.

1960—80-е гг.: концепции общей теории систем, обеспеченные собственным математическим аппаратом (работы М. Месаровича, А. Умова, В. Глушкова), например, модели многоуровневых многоцелевых систем.

Исследователь М. Месарович утверждал: «Общая теория систем должна быть настолько общей, чтобы охватить все различные уже существующие конкретные теории. В связи с этим она должна быть достаточно абстрактной, чтобы ее термины и понятия могли быть интерпретированы в каждой из наиболее узких областей».

Итак, фактически существуют два подхода, две общие теории систем - по М. Месаровичу и по фон Бергаланфи.

Первая из них изначально ориентирована на создание теоретического фундамента «частных теорий» и развивается в сторону систем с характеристиками интеллектуальности за счет рассмотрения кибернетики как собирательного направления, моделирующего живое в машине.

Вторая является программой исследований незамкнутых систем, направленной на поиск методов доказательства существования определенных черт живого в системах, начиная с некоторого уровня их системной сложности.

Литература

1. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. М., 1971.
2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учебник для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. - 3-е изд. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2003.
3. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. Под ред. С. В. Емельянова. - М.: Мир, 1978 г. - 312 с.
4. Бергаланфи Л. фон. Общая теория систем – обзор проблем и результатов.// Системные исследования. Ежегодник 1969. М., 1969, стр. 30-34.

ДИНАМИКА ТВОРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СТУДЕНТОВ ФЭИМ ЮТИ ТПУ

Т.Ю. Зорина, студент гр. 17В20, С.В. Соколова, доц.

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

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (8-384-51) 6-44-32

E-mail: svetlanaeno@mail.ru

Цель: исследование влияния высшего образования на творческий потенциал на примере студентов ЮТИ ТПУ ФЭиМ

Задачи:

- тестировать студентов направления «Прикладная информатика» ЮТИ ТПУ;
- проанализировать результаты тестирования;
- расширить знания по математической статистике (изучить методику критерия знаков G);
- обработать тесты, применяя критерий знаков G, для определения достоверности результатов исследования.

Новые экономические отношения ведут к смене традиционной образовательной парадигмы. До сих пор высшее профессиональное образование является фактологическим. Одним из результатов репродуктивной деятельности имеем не формирование творцов, а потребителей знаний. Поэтому одной из задач современного образования является развитие творческого потенциала будущего специалиста.

Творчество – деятельность, порождающая нечто качественно новое, никогда ранее не бывшее. Творчество можно рассматривать в двух аспектах: психологическом и философском. Остановимся на первом: психология творчества исследует процесс, психологический «механизм» протекания акта творчества как, субъективного акта индивида.

На протяжении двух лет проводили тестирование творческого потенциала (приложение 1) студентов 17В20, 17В30 гр. В анкетировании принимало участие 40 респондентов. Результаты представлены на примере студентов гр.17В20 графиками, на которых ряд 1 – тестирование 2013года, ряд

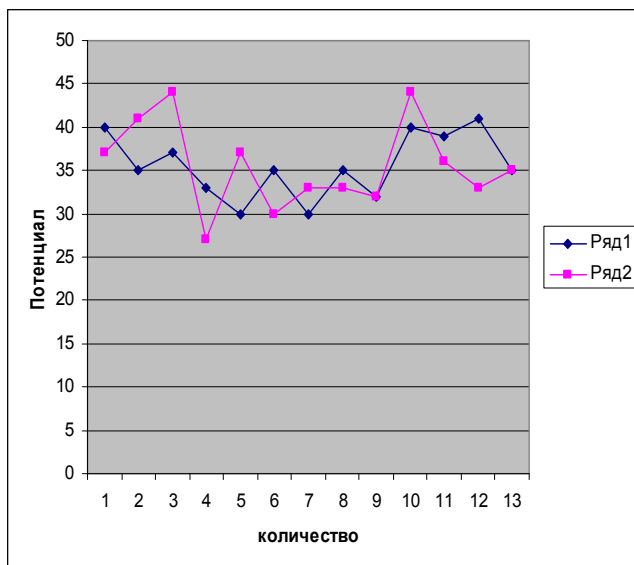


Рис.1. Творческий потенциал

В предложенной работе применяется критерий знаков G. На основе этого критерия были получены результаты: развитие творческого потенциала неудовлетворительно, поскольку не дает статистически достоверных изменений в творческом потенциале студентов. Мы не можем делать вывод о том, что в ЮТИ ТПУ нет условий для развития творческого потенциала. Однако информация для размышления получена.

Тест позволяет оценить уровень вашего творческого потенциала, умения принимать нестандартные решения.

Инструкция: Выберите один из предложенных вариантов поведения в данных ситуациях.

1. Считаете ли вы, что окружающий вас мир может быть улучшен: а) да; б) нет, он и так достаточно хорош; в) да, но только кое в чем.

2. Думаете ли вы, что сами можете участвовать в значительных изменениях окружающего мира: а) да, в большинстве случаев; б) нет; в) да, в некоторых случаях.

3. Считаете ли вы, что некоторые из ваших идей принесли бы значительный прогресс в той сфере деятельности в которой мы работаете: а) да; б) да, при благоприятных обстоятельствах; в) лишь в некоторой степени.

4. Считаете ли вы, что в будущем будете играть столь важную роль, что сможете что-то принципиально изменить: а) да, наверняка; б) это маловероятно; в) возможно.

5. Когда вы решаете предпринять какое-то действие, думаете ли вы, что осуществите свое начинание:

а) да,

б) часто думаете, что не сумеете, в) да, часто.

6. Испытываете ли вы желание заняться делом, которое абсолютно не знаете: а) да, неизвестное вас привлекает;

б) неизвестное вас не интересует; в) все зависит от характера этого дела.

7. Вам приходится заниматься незнакомым делом. Испытываете ли вы желание добиться в нем совершенства:

а) да; б) удовлетворяетесь тем, чего успели добиться; в) да, но только если вам это нравится.

8. Если дело, которое вы не знаете, вам нравится, хотите ли вы знать о нем все: а) да; б) нет, вы хотите научиться только самому основному; в) нет, вы хотите удовлетворять свое любопытство.

9. Когда вы терпите неудачу, то: а) какое-то время упорствуете, вопреки здравому смыслу; б) махнете рукой на эту затею, так как понимаете, что она нереальна;

в) продолжаете делать свое дело, даже когда становится очевидно, что препятствия непреодолимы.

10. По-вашему профессию надо выбирать, исходя из: а) своих возможностей, дальнейших перспектив для себя; б) стабильности, значимости, нужности профессии, потребности в ней; в) преимуществ, которые она обеспечит.

Путешествия, могли бы вы легко ориентироваться на маршруте, по которому уже прошли? а) да, б) нет, боитесь сбиться с пути; в) да, но только там, где местность вам понравилась и запомнилась.

2 – тестирование 2014года. Нередко, сравнивая «на глазок» результаты тестирования, видим, что большинство показателей может увеличиваться или уменьшаться. Наиболее простым путем оценки различий, казалось бы является подсчет процентов в изменениях в ту или другую сторону и сравнение полученных процентов между собой. На основе этого сравнения можно было бы прийти к заключению, что если имеет место различия в процентах, то имеет место различие и в сравниваемых психологических характеристиках.

Подобный подход категорически неприемлем, поскольку нельзя определить уровень достоверности. Поэтому делать выводы из экспериментального материала можно только на основе статистических процедур.

12. Сразу же после какой-то беседы сможете ли вы вспомнить все, что говорилось:

а) да, без труда; б) всего вспомнить не можете; в) запоминаете только то, что вас интересует.

13. Когда вы слышите слово на незнакомом вам языке, то можете повторить его по слогам, без ошибок, даже не зная его значения: а) да, без затруднений; б) да, если это слово легко запомнить; в) повторите, но не совсем правильно.

14. В свободное время вы предпочитаете: а) остаться наедине, поразмыслить; б) находиться в компании; в) вам безразлично, будете ли вы один или в компании.

15. Вы занимаетесь каким-то делом. Решаете прекратить это занятие только когда: а) дело закончено и кажется вам отлично выполненным; б) вы более-менее довольны; в) вам еще не все удалось сделать.

16. Когда вы один: а) любите мечтать о каких-то, даже, может быть, абстрактных вещах; б) любой ценой пытаетесь найти себе конкретное занятие; в) иногда любите помечтать, но о вещах, которые связаны с вашей работой.

17. Когда какая-то идея захватывает вас, то вы станете думать о ней: а) независимо от того, где и с кем вы находитесь; б) вы можете делать это только наедине; в) только там, где будет не слишком шумно.

18. Когда вы отстаиваете какую-то идею: а) можете отказаться от нее, если вы слышите убедительные аргументы оппонентов; б) останетесь при своем мнении, какие бы аргументы ни высказали; в) измените свое мнение, если сопротивление окажется слишком сильным.

Литература.

1. Гербачевский В.К. Интеллектуальный потенциал. Личностный аспект //Вестник ЛГУ, 1990. Сер.6. Вып.3. – с49-57.
2. Ермолаев О.Ю. Математическая статистика для психологов. – М.: «Флинта», 2004. – с 70-78.

К ПРОБЛЕМЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

О.Г. Князева, ст. преподаватель

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

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (8-384-51) 6-44-32

E-mail: okeno@mail.ru

Обучение в вузе характеризуется рядом особенностей, обусловленных спецификой дидактики высшей школы. Это касается целей обучения, отбора содержания образования и организации учебной деятельности.

Цели подготовки инженеров постоянно изменяются и внешне выражаются в форме общественных требований к профессии: повышение качества умственного труда, формирование умений широкого профиля, психологическая готовность пополнять свои знания, повышать квалификацию, осваивать новое технологическое оборудование; воспитание активности и творческих профессиональных способностей, инициативы. При отборе и построении содержания в профессиональном обучении первостепенное значение имеет проблема соотношения фундаментального и профессионального в образовании инженера. Усвоение знаний и методов деятельности должно осуществляться в контексте формирования профессиональных и познавательных интересов, развития творческих способностей, умения самостоятельно осваивать новые знания.

Цели обучения могут быть достигнуты посредством оптимального сочетания содержательных и методических подходов к организации учебного процесса. Отбор и структурирование содержания образования, выбор форм, методов и средств обучения регламентируются системой дидактических принципов. Дидактические принципы синтезируют в себе достижения современной педагогической науки и обновляются под их влиянием. Поэтому система дидактических принципов со временем трансформируется и расширяется.

Анализ работ в области дидактики высшей школы позволяет выделить называемые большинством авторов и наиболее существенные для исследования дидактические принципы.

Принцип научности требует адекватного отражения изучаемой действительности, соотношения учебного предмета и соответствующей системы знаний (науки), формирования у учащихся способов и приемов научного мышления, организации усвоения научной основы знаний с необходимой степенью строгости.

Дополняя принцип научности, принцип доступности в высшей школе, по СИ. Архангельскому [1], требует обоснованного ограничения задач обучения, объема и содержания учебной информации. Доступность предполагает посильную трудность вузовского курса, учет уровня подготовленности студентов, их возрастных и индивидуальных особенностей.

Соблюдение требований научности и доступности предполагает введение следующих принципов - систематичности и последовательности в обучении и наглядности. Следование принципу систематичности и последовательности предполагает структурирование и изложение учебного материала в логической последовательности, обеспечивающей наиболее рациональный путь усвоения знаний. Кроме того, систематичность должна проследиваться в связи между теоретическими и практическими занятиями, в вопросах организации повторения, контроля, самостоятельной работы.

Принцип наглядности требует при изучении понятий и теорий использовать модели, отражающие их суть. При этом необходимо опираться на нейрофизиологические механизмы восприятия и памяти, устойчивые ассоциации. Сочетание конкретного и абстрактного в обучении предполагает выявление взаимосвязи изучаемых реальных фактов, предметов, их признаков и свойств с отвлеченными понятиями и их теоретическим, отвлеченным обобщением. Особенно важно соблюдение принципа наглядности при обучении математическим дисциплинам, построенным на высоком уровне абстрагирования.

Более сложную смысловую нагрузку несет еще один дидактический принцип - принцип системности. Функционирование системных по своей сути объектов в природе, обществе, науке, технике говорит о том, что сегодня системным подходом к проблемам должны владеть не только ведущие специалисты отрасли, но и рядовые работники. Решать эту задачу должна не информация о существовании системного мышления как такового, а организация обучения, направленного на воспитание такого типа мышления. В этом случае целью обучения становится не просто сообщение некоторой суммы знаний, а формирование мышления. Таким образом, принцип системности тесно связан с принципом развивающего обучения, поскольку развитие интеллекта является важнейшим условием полноценного образования. Подход к обучению с этих позиций осуществлен в работах психологов В.В. Давыдова, З.А. Решетовой, Н.Ф. Талызиной и др. Проблема развивающего обучения посвящены многие труды Л.С. Выготского.

Эффективное обучение невозможно без активной, заинтересованной учебной деятельности студентов. Дидактический принцип активности личности требует организации обучения, формирующего у студентов устойчивые познавательные потребности и готовность к активному овладению знаниями.

Повышению активности студентов в обучении, разнообразию возможностей индивидуального подхода способствует использование ЭВМ в учебном процессе. Принцип информатизации (компьютеризации и использования новых информационных технологий), введенный Г.Л. Луканкиным [2] как критерий и принявший в настоящее время значение дидактического принципа, регламентирует расширение сферы применения компьютеров на разных этапах обучения. Компьютеризация математического образования в технических вузах предполагает создание новых методик обучения с использованием ЭВМ.

Особый интерес представляет принцип профессиональной направленности, являющийся специфическим принципом дидактики профессиональной школы. Остановимся на нем подробнее.

Принцип профессиональной направленности обучения известен в педагогике более двадцати лет. В 60-е годы одним из наиболее значимых принципов вузовской дидактики провозглашался принцип связи обучения с практикой, практического опыта с наукой. Этот принцип представлял собой определенное сочетание принципа профессиональной направленности и принципа научности. Обсуждались пути реализации этого принципа, как в общеинженерном, так и в специальном, профессиональном циклах обучения.

Впервые, по мнению некоторых авторов, принцип профессиональной направленности обучения в высшей школе был введен в середине 70-х годов. В дальнейшем применительно к профессиональному образованию этот принцип рассматривался в работах В.И. Загвязинского, ВВ. Краевского, А.Я. Кудрявцева и др. Большое количество исследований посвящено проблеме формирования профессиональной направленности применительно к педагогическим специальностям (Н.В. Кузьмина, Г.Л. Луканкин, А.Г. Мордкович, А.И. Нижников, В.А. Сластенин, А.И. Щербаков и др.).

Проблема профессиональной направленности обучения и воспитания студентов сложна по структуре и содержанию. Она включает как формирование социальной и психологической направ-

ленности будущих специалистов на профессиональную деятельность, так и междисциплинарные связи в организации и содержании обучения в вузе.

Таким образом, в педагогике можно определить два подхода к профессиональной направленности обучения. Следуя первому, под профессиональной направленностью понимается ориентация системы потребностей, мотивов, интересов и склонностей личности на положительное отношение к будущей профессии. И.Н. Алешина [3] выделяет в этом контексте следующие признаки профессиональной направленности: взаимосвязь профессиональной, общественной и познавательной направленности; связь профессиональной направленности с сущностью деятельности; осознанность и психологическая готовность к деятельности; всеобъемлющий устойчивый интерес к профессии на основе склонностей и способностей. Профессиональная направленность, как считает И.Н. Алешина, является ведущим мотивом учения, стимулирующим познавательную деятельность студентов в процессе образования и самообразования. С точки зрения изучения отдельных дисциплин уровень профессиональной направленности зависит от двух компонентов - от отношения к профессии и от отношения к предмету.

Второй подход к профессиональной направленности касается проблемы отбора и построения содержания образования на основе межпредметных связей общенаучных, общепрофессиональных и специальных дисциплин. А.Я. Кудрявцевым [4] было показано, что принцип профессиональной направленности ориентирует не только на связь с производственным обучением, а требует также охватывать теоретическое обучение, организацию межпредметных связей общеобразовательных и специальных дисциплин, использование профессионального аспекта в процессе обучения общеобразовательным предметам.

Наиболее перспективным, с точки зрения всестороннего рассмотрения проблемы, нам представляется сочетание названных подходов. Так, М.И. Махмутов [5] пишет, что принцип профессиональной направленности обучения заключается «в своеобразном использовании педагогических средств, при котором обеспечивается усвоение учащимися предусмотренных программами знаний, умений, навыков и, в то же время, успешно формируется интерес к данной профессии, ценностное отношение к ней, профессиональные качества личности... Педагогическими средствами, служащими реализации профессиональной направленности преподавания, являются как элементы содержания обучения, в частности, характер иллюстративного материала для раскрытия программных тем, способы его структурирования, так и некоторые компоненты приемов, методов и форм обучения». В этой концепции принцип профессиональной направленности создает основу сочетания общеобразовательного и профессионального в целостной системе образования и воспитания специалиста, подготовки его к участию в профессиональной деятельности в соответствии с личными интересами и общественными потребностями. Реализация принципа профессиональной направленности разрешает противоречие между целостностью личности и профессиональностью, между теоретическим характером изучаемых в вузе дисциплин и практическим умением применять эти теоретические знания в профессиональной деятельности.

Таким образом, принцип профессиональной направленности регулирует в образовании соотношение общего и специфического, определяет диалектику взаимодействия целостного развития личности и ее особенного, профессионального. Именно это обстоятельство предопределяет особое дидактическое значение принципа профессиональной направленности в профессиональном образовании.

Базисом для специальной подготовки инженера являются общенаучные дисциплины, и реализация требований профессиональной направленности при их изучении особенно актуальна. Имеются различные точки зрения на содержание общенаучной подготовки в вузе.

Во-первых, пути повышения значимости общенаучной подготовки видятся в усилении внутренней логической связи дисциплины, в опоре на научное знание. Это объясняется тем, что в отличие от технического, прикладного знания фундаментальное, теоретическое знание стареет значительно медленнее, методологическая эффективность теоретического знания выше. Ценность методологии теоретического знания несомненна, однако недостаточно было бы ограничиться в преподавании фундаментальных курсов фрагментарной иллюстрацией основных общетеоретических положений примерами из профессиональных областей. Связь общеобразовательной и профессиональной подготовки должна быть систематической и более глубокой, многосторонней.

На основании сказанного представляет интерес и другая точка зрения, предполагающая широкое включение в преподавание общенаучных дисциплин прикладного материала на разных уровнях изложения. Она возникла в связи с тем, что при изучении общеобразовательных дисциплин студенты

не получают навыков применения этих знаний в специальных дисциплинах и будущей профессиональной деятельности.

Необходимо отметить, что реализация межпредметных связей фундаментальных и специальных дисциплин, включение профилирующего материала в изложение общеобразовательных курсов не должны приводить к нарушению внутриспредметных связей, логики дисциплины, превращать ее в цикл отдельных, не связанных между собой вопросов.

Из проведенного обзора следует, что принцип профессиональной направленности является одним из основополагающих принципов дидактики высшей школы. Профессиональная направленность обучения в вузе имеет сложную структуру, не сводимую только к воспитательным мероприятиям. Наряду с мотивационно-целевыми аспектами она непосредственно касается существа вопросов отбора содержания образования, форм и методов обучения. Решение этих вопросов является важнейшим дидактическим условием успешной организации профессионального обучения.

Курс высшей математики в технических вузах должен отвечать требованиям фундаментальности и профессиональной направленности. Эти требования не противоречат друг другу, а способствуют общей образованности студентов и их профессиональной подготовке.

Реализация в обучении математике принципа профессиональной направленности имеет целью формирование математического аспекта готовности будущего специалиста к профессиональной деятельности. В содержание этого понятия мы включаем следующее: развитие мышления и формирование профессионально значимых приемов умственной деятельности; обеспечение математического аппарата для изучения специальных дисциплин и профессиональной подготовки; методологическую подготовку к непрерывному самообразованию в области математики и ее приложений.

Перечисленные задачи требуют решения на содержательном (отбор и построение содержания курса математики) и методическом уровнях организации процесса обучения с учетом специфики математики как науки и как учебного предмета.

Считая хорошую математическую подготовку неотъемлемой частью полноценного инженерного образования, Б.В. Гнеденко обращает внимание на то, что «математическое образование - это не только передача сведений по различным областям математики, знакомство с ее результатами, понятиями и методами исследования, но и формирование научного мировоззрения» [6]. Поэтому учить математике, утверждает Б.В. Гнеденко, «следует не вообще, а так, чтобы содействовать познанию закономерностей окружающего мира; чтобы учащиеся ясно представляли себе происхождение основных понятий и процесс научного прогресса; чтобы студенты одновременно получали навыки практического использования теории, которые являлись бы естественным условием развития теоретического знания; учить так, чтобы полученные знания не были бесполезным грузом, а постоянно использовались на практике» [6].

Однако нередко преподаватели математики, стремясь усовершенствовать свой курс в чисто теоретическом отношении, сделать его более цельным и стройным, в меньшей степени задумываются о том, что для студентов технических вузов важна методологическая связь получаемых знаний с их практическими приложениями. Студенты в вузов выбрали своей специальностью другие науки, поэтому важно так строить преподавание, чтобы студент постоянно ощущал, что, изучая математику, он приближается к более глубокому пониманию и своей специальности.

Реализация требований профессиональной направленности курса математики предполагает взаимодействие преподавателей математики и преподавателей специальных дисциплин. Для полноценного математического образования нужно строить математические курсы с учетом требований этих дисциплин. В курс математики технического вуза должно входить освещение явлений природы, технических и экономических процессов и показ того, как их изучение приводит к постановке математических задач и построению новых математических понятий, систематический показ связей излагаемых математических теорий с задачами практики.

При изложении специальных инженерных и экономических курсов важно всесторонне использовать уже накопленные студентами математические знания. Стремление обойтись без математики воспитывает ложное представление о том, что в современных инженерных исследованиях, в вопросах управления производственными процессами, при решении производственных и экономических задач можно заниматься приблизительными рассуждениями, неполноценными логическими заключениями, почти полным игнорированием математических методов.

В некоторых случаях изложение отдельных глав инженерных предметов или же организации производства ведется на качественном уровне, в то время как длинные и неубедительные рассуждения можно заменить полноценным математическим доказательством, вполне доступным каждому студенту.

Эффективность обучения в значительной степени обуславливается уровнем познавательной активности, интересом обучаемых. Познавательный интерес, с одной стороны, появляется тогда, когда приходит понимание предмета, удовлетворение от познания тех идей, которые лежат в основе дисциплины, и от тех результатов, которые удастся в ней получить. С другой стороны, на формирование положительной мотивации изучения предмета оказывает влияние осознание его учебной и профессиональной значимости.

Подход к математическому образованию в технических вузах, когда при сохранении логической структуры и строгости изложения дисциплины выясняется происхождение ее задач и понятий из практики и иллюстрируются возможности математических методов исследования естественнонаучных и прикладных проблем, позволит добиться того, что абстрактность математических понятий и методов исследования станет восприниматься не как отход от задач практики и повседневной жизни, а как необходимый прием изучения явлений реальной действительности с позиций свойственных им количественных закономерностей, логических связей, геометрических форм. Такое отделение математических понятий от породивших их явлений дает возможность доказанные математические результаты переносить и на многие другие явления, обладающие теми формальными особенностями, которые свойственны вводимым математическим понятиям и полученным на их базе математическим выводам. Именно этим обстоятельством объясняется широкая применимость одного и того же математического аппарата к явлениям различной физической природы. Учащийся при этом наглядно видит силу абстракции и ее необходимость.

В последние годы среди задач высшей школы в число первоочередных выдвинулась задача приобретения молодыми специалистами навыков постоянного самообразования в течение всей трудовой деятельности.

Темпы интеллектуальной перевооруженности науки и техники сегодня таковы, что студент в своей будущей деятельности столкнется с законами, процессами и технологиями, с которыми он принципиально не мог познакомиться в вузе. Без постоянного обновления знаний специалист не сможет соответствовать современным требованиям. Следовательно, одной из основных задач обучения в каждом цикле дисциплин должно быть привитие навыков систематического самостоятельного обучения. Не потеряли актуальности слова Б.В. Гнеденко о том, что педагог вуза должен заниматься не только передачей знаний, предусмотренных учебным планом, но и систематически совершенствовать навыки самостоятельного изучения нового материала, развивать любознательность студентов, прививать интерес к познанию.

Обобщая сказанное, можно заключить: поскольку требования профессиональной направленности обучения математике должны быть реализованы как на уровне отбора и построения содержания курса, так и в выборе методических подходов к организации учебной деятельности, целесообразно провести системное исследование содержательных и процессуальных аспектов обучения математике в технических вузах на основании системообразующих функций принципа профессиональной направленности.

Педагогические системы, разрабатываемые применительно к преподаванию конкретных дисциплин, называют методическими системами. Так как математическое образование является компонентом общей культуры и важной частью профессиональной подготовки специалистов, методическая система обучения математике в техническом вузе должна рассматриваться как подсистема общей системы профессионального образования студентов технических вузов.

Таким образом, для построения оптимального, с точки зрения фундаментальной и профессиональной подготовки, содержания математического образования и разработки адекватной методики обучения необходимо проанализировать психолого-педагогические основы организации учебной деятельности, выявить психологические особенности обучения математике студентов технических вузов и определить критерии отбора содержания математического образования в технических вузах.

Литература.

1. Архангельский С.И. Лекции по теории обучения в высшей школе. – М., Высшая школа. 1984. – 384 с.
2. Луканкин Г.Л. Научно-методические основы профессиональной подготовки учителя математики в педагогическом институте. Диссертация доктора пед. Наук в форме научного доклада. – Ленинград, 1989. – 59 с.

3. Алешина И.Н. Психологические особенности влияния социальных ожиданий на формирование профессиональной направленности студента педагогического института. Диссертация кандидата психологических наук. – М., 1990.
4. Кудрявцев А. Я. О принципе профессиональной направленности. /Советская педагогика №8, 1981.
5. Махмутов М.И. Принцип профессиональной направленности обучения. /Принципы обучения в современной педагогической теории и практике. – Челябинск, ЧПУ, 1985.
6. Гнеденко Б.В. Математическое образование в вузах. – М., высшая школа, 1981.
7. Столяр, А. А. Педагогика математики. Минск: Высшая школа, 1986. – 414 с.

ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ В СОЗДАНИИ УСЛОВИЙ САМОРАЗВИТИЯ СТУДЕНТОВ

*И.Н. Гущина, студент гр. 10710, Н.С. Пушкарева, студент гр. 10710, Л.Б. Гиль, к.п.н.,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)5–35–90
E-mail: gileno@mail.ru*

Происходящие сегодня изменения в программах подготовки специалистов технического вуза приводят к необходимости переосмысления психолого-педагогических основ преподавания всех дисциплин технического вуза, в том числе и математики. Содержание математического образования студентов технического вуза, а также требования к их математической подготовке сформулированы и зафиксированы в государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования. Однако ошибочным с точки зрения современной психологии и дидактики продолжает оставаться мнение о том, что овладение самим содержанием математики автоматически формирует мышление студентов и является достаточным условием для того, чтобы студент мог самореализовать себя в выбранной сфере деятельности. При обучении математике главным является не то, какое содержание должно быть усвоено, а то, как это содержание должно быть усвоено и самое главное, как процесс усвоения содержания математического образования повлияет на дальнейшее самообразование, саморазвитие, самореализацию личности студента. Условия для наиболее полного раскрытия и развития потенциальных возможностей личности в процессе обучения математике могут быть обеспечены в полной мере лишь при соблюдении основного принципа гуманизации образования – индивидуализации обучения.

«Индивидуальность – интегральное свойство личности, совокупность индивидуально-психических особенностей, делающих её уникальной, неповторимой. Индивидуальность проявляется в чертах темперамента, характера, в специфике интересов, качеств перцептивных процессов и интеллекта, потребностей и способностей индивида. Предпосылкой формирования человеческой индивидуальности служат анатомо-физиологические задатки, которые преобразуются в процессе воспитания» [1]. Индивидуально-психологические различия – достаточно устойчивые особенности психических процессов, по которым люди могут быть отличены друг от друга. Диапазон индивидуально-психологических различий может достигать значительных значений, при этом он зависит и от возраста, и от обучения.

Индивидуализация обучения предполагает обучение студентов с учётом их индивидуально-психологических условий и склонностей к определённой профессиональной деятельности, применение такой организации учебного процесса, которые обеспечивают наиболее полное раскрытие потенциальных возможностей студентов, развитие их интеллектуальных, профессиональных, творческих способностей, личности в целом. Основным ресурс для этого – усвоение студентами базового содержания математического образования, но индивидуально неповторимым способом в индивидуальном темпе, чему способствует информирование студентов преподавателем в начале каждого семестра в рейтинг-плане дисциплины об основных этапах контроля выполнения индивидуальных домашних заданий, рефератов, проектов и т.д. в течение семестра.

Индивидуализации учебно-познавательной деятельности способствует помощь студенту в формировании у него индивидуального стиля (по Е.А. Климову) своей учебной деятельности, наиболее общепризнанными формальными признаками, которого можно считать: «..а) устойчивую систему приёмов и способов деятельности; б) эта система обусловлена определёнными личными качествами; в) эта система является средством эффективного приспособления к объективным требованиям» [3;

С. 75]. Помочь найти студенту свой индивидуальный стиль учебной деятельности – это, значит, помочь ему найти свои специфические, оптимальные способы приспособления к учебным ситуациям».

Обучение с учётом индивидуально-психологических особенностей студентов (темперамента, функциональной симметрии-ассиметрии полушарий головного мозга, когнитивных стилей, акцентуаций характера, самооценки, уровней притязаний, уровня развития интеллектуальных способностей и т.д.) способствует активизации и повышению эффективности их познавательной деятельности, а, следовательно, развитию их интеллекта и психики в целом. Знание преподавателем личностных и интеллектуальных особенностей студентов, их склонностей способствует как установлению взаимопонимания между преподавателем и студентом, так и повышению эффективности и успешности учебной деятельности. Так, знание уровня развития логического, образного и пространственного мышления, общего интеллекта позволяет преподавателю организовать обучение на основе принципа высокого уровня трудности. В результате сравнительного анализа когнитивно-стилевых особенностей педагогов и субъектов учения выявлено следующее: чем выше уровень соответствия когнитивного стиля педагога и студента, тем лучше успеваемость по данному предмету. А при несоответствии стилиевых особенностей педагога и студента возникает так называемый «конфликт стилей», что снижает успешность обучения. Несоответствие индивидуальных познавательных стилей студентов и индивидуальных стилей педагогической деятельности преподавателей может порождать фрустрацию, тревожность, которая выражается в волнении, в ожидании постоянного неуспеха, является фактором риска, ведущим к деформации личности, поэтому перед преподавателем встаёт задача поиска компенсирующих методов обучения, предотвращающих «стилевые» конфликты. Учёт особенностей когнитивных стилей студентов при конструировании преподавателем учебной информации обеспечивает эффективность восприятия и переработки информации, что способствует повышению качества обучения, формированию системы знаний.

Зная склонности студентов к соответствующей профессиональной деятельности, преподаватель может разработать систему задач-заданий, выполнение которых будет способствовать формированию информационной основы деятельности и профессионально-важных качеств в той деятельности, к которой у студентов наиболее выражена направленность. Этому в значительной степени способствует и организация деловых игр в соответствии с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Индивидуализацию обучения математике студентов одной и той же специальности, но разной профессиональной направленности возможно осуществить по двум вариантам:

- 1) Обучение по индивидуальному плану при активной (главным образом) самостоятельной познавательной деятельности в соответствии с профессиональной направленностью при консультации преподавателя. Это возможно для студентов со сформированной психологической готовностью к учебной деятельности в вузе, т.е. наличии мотивации к познавательной деятельности в соответствии с профессиональной направленностью, умения ставить цели, находить пути и средства их достижения, умения принимать решения в различных ситуациях, возникающих в процессе достижения поставленных целей; при наличии системы знаний и способностей к дальнейшему формированию информационной основы будущей профессиональной деятельности, а также способностей в большой степени самостоятельно формировать профессионально важные качества, выполняя соответствующие задания;
- 2) Индивидуализация обучения при групповой форме организации учебного процесса. При такой организации учебного процесса разрабатываются планы обучения на подгруппу студентов с одинаковой профессиональной направленностью, формируются комплекты задач-заданий, выполнение которых должно способствовать формированию профессиональной системы знаний. Целесообразно применять дифференцированное обучение, когда группа разбивается на подгруппы в соответствии с уровнем обученности и профессиональной направленности.

При использовании любых форм и методов обучения математике в техническом вузе нельзя, конечно, учесть все индивидуальные особенности каждого студента, поэтому реальнее учитывать индивидуальное развитие групп студентов, обладающих сходными особенностями. Для этого необходимо отработать классификацию, создать диагностический инструментарий, скомплектовать разноуровневые задания, и затем, обладая разнообразным технологическим инструментарием, согласовывать свои приёмы и методы работы с индивидуальными особенностями группы студентов.

Реализация в учебном процессе индивидуализации обучения математике, безусловно, способствует формированию способности студентов к саморазвитию, повышению качества подготовки специалистов в техническом вузе.

Литература.

1. Коджаспирова Г.М., Коджаспиров А.Ю. Словарь по педагогике. - Москва: ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2005. – 448 с.
2. Соколова И.Ю., Кабанов Г.П. Качество подготовки специалистов в техническом вузе и технологии обучения: учебно-методическое пособие для педагогов, аспирантов, магистрантов. - Томск: Изд-во ТПУ, 2003.– 203 с.
3. Психология индивидуальных различий. Тексты / Под ред. Ю.Б. Гиппенрейтер, В.Я. Романова. М.: Изд-во МГУ, 1982. – С. 74-77.

ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

С.Н. Евстафьев, студент гр. 17В30, С.В. Соколова, доц.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (8-384-51) 6-44-32
E-mail: svetlanaeno@mail.ru*

Цель – расширение знаний по теории вероятностей и математической статистике через теорию массового обслуживания.

Задачи:

- Показать актуальность
- Рассмотреть круг задач, где она применима
- Изучить основы теории массового спроса
- Рассмотреть на примере работы студенческого кафе «Переменка»

Буквально с момента рождения нам приходится сталкиваться с очередями. Наши родители сидят в очереди в ЗАГСе, чтобы официально зафиксировать этот факт... Вы стоите в очереди в школьный гардероб... Вы набираете телефонный номер вашей подруги и слышите короткие гудки... Не дозвонившись, решаете для экономии времени воспользоваться собственным автомобилем и попадаете в традиционную «пробку»... Очереди являются бедствием нашей эпохи, бедствием неизбежным, если мы не устраним всякую свободу выбора и не будем планировать каждую мелочь, касающуюся людей и продуктов производства, – это нетерпимо для цивилизованного общества и, как правило, неосуществимо. Но если ожидание неизбежно, его можно в какой-то степени контролировать: систему или организацию, на входе которой образуется очередь, можно преобразовать и улучшить с точки зрения обслуживания. Очереди возникают практически во всех системах массового обслуживания (СМО) и *теория массового обслуживания (теория очередей)* занимается оценкой функционирования системы при заданных параметрах и поиском параметров, оптимальных по некоторым критериям.

Основоположником теории массового обслуживания (ТМО) считается датский ученый А. К. Эрланг. Являясь сотрудником Копенгагенской телефонной компании, он опубликовал в 1909 году работу «Теория вероятностей и телефонные переговоры», в которой решил ряд задач по теории систем массового обслуживания с отказами. Значительный вклад в создание и разработку общей *теории массового обслуживания* внес выдающийся советский математик *Александр Яковлевич Хинчин*, который предложил сам термин *теория массового обслуживания*. В зарубежной литературе чаще используется название *теория очередей*.

Теория массового обслуживания – это область прикладной математики, использующая методы теории вероятностей и математической статистики. Предметом изучения теории массового обслуживания являются *системы массового обслуживания (СМО)*. *Система массового обслуживания* – система специального вида, реализующая многократное выполнение однотипных задач. Во многих областях производства, бытового обслуживания, экономики и финансов важную роль играют системы специального вида, реализующие многократное выполнение однотипных задач. Подобные системы называют *системами массового обслуживания (СМО)*. В качестве примеров СМО в финансово-экономической сфере можно привести системы, представляющие собой банки, страховые организации, налоговые инспекции, аудиторские службы. Каждая СМО включает в свою структуру некоторое число обслуживающих устройств (единиц, приборов, линий), которые называют *каналами обслуживания*. Роль каналов могут играть лица, выполняющие те или иные операции (кассиры, операторы, продавцы, парикмахеры и т.д.), линии связи, автомашины, краны, ремонтные бригады, железнодорожные пути, бензоколонки и т.д.

Классификация СМО

1. По количеству одновременно поступающих заявок. Поток с вероятностью одновременного появления двух и более заявок равной нулю называется ординарным.
2. По связи между заявками. Если вероятность появления очередной заявки не зависит от количества предшествующих заявок, имеем дело с потоком без последствия.
3. По однородности заявок выделяют однородные и неоднородные потоки.
4. По ограниченности потока заявок различают замкнутые и разомкнутые системы (система с ограниченной клиентурой называется замкнутой). Так универсальный магазин является разомкнутой системой, тогда как оптовый магазин с постоянными клиентами - замкнутая система.
5. По поведению в очереди системы делятся на системы с отказами (заявка покидает систему, если нет мест в очереди), с ограниченным ожиданием и с ожиданием без ограничения времени.
6. По дисциплине выбора на обслуживание. Здесь можно выделить системы с обслуживанием в порядке поступления, в случайном порядке, в порядке, обратном поступлению (последний пришел - первым обслужен) или с учетом приоритетов.
7. По числу каналов обслуживания системы разделяют на одно- и многоканальные.
8. По времени обслуживания выделяют системы с детерминированным и случайным временем.
9. По количеству этапов обслуживания различают однофазные и многофазные системы.
10. По характеру поступления заявок. Если интенсивность входного потока (количество заявок в единицу времени) постоянна или является заданной функцией от времени, поток называют регулярным. Если параметры потока независимы от конкретного момента времени, поток называют стационарным.

Поток событий – это последовательность однородных событий, следующих одно за другим в какие-то случайные моменты времени (например, поток вызовов на телефонной станции, поток покупателей, поток заказных писем, поступающих в почтовое отделение).

Основные характеристики СМО

Значение P_0 определяет вероятность того, что все каналы обслуживания свободны (находятся в состоянии простоя).

Значение P_k определяет вероятность того, что в системе (в очереди и на обслуживании) находятся k заявок. Если k не превышает числа каналов N , то все заявки находятся на обслуживании и очередь отсутствует; в противном случае все каналы заняты и $k-N$ заявок находится в очереди.

Вероятность $P_{отк}$ отказа в обслуживании определяется ситуацией занятости всех N каналов и всех m мест в очереди и равна P_{N+m} .

Пример. В кафе «Переменка» интенсивность обслуживания клиентов в среднем составляет 30 человек в час. Обслуживанием клиентов занимается один продавец, при этом среднее время обслуживания одного клиента составляет 6 минут. Среднее количество клиентов, покинувших очередь, не дождавшихся обслуживания, составляет 4 человека в час. Определить абсолютную пропускную способность кафе «Переменка».

Решение:

1. Определим параметр потока обслуживания: $\mu = \frac{1}{t} = \frac{1}{6} = 0,1667$.

2. Приведенная интенсивность потока заявок: $\psi = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,5}{0,1667} = 2,999$.

3. Предельные вероятности состояний найдем по формулам Эрланга:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{\infty} \frac{\psi^k}{k!}} = \frac{1}{1 + 2,999 + 4,497 + 4,496} = 0,077,$$

$$P_n = \frac{\psi^n}{n!} P_0, \quad P_1 = 0,230923, \quad P_2 = 0,346269, \quad P_3 = 0,346.$$

4. Вероятность отказа в обслуживании заявки: $P_{отк} = P_3 = 0,346$.

5. Относительная пропускная способность: $q = 1 - P_{отк} = 1 - 0,346 = 0,654$.

6. Абсолютная пропускная способность: $A = \lambda \cdot q = 0,5 \cdot 0,654 = 0,327$.

Вывод: кафе «Переменка» работает неэффективно.

Заключение

Мы рассмотрели лишь поверхность надводной части айсберга ТМО. Навсегда ушло время, когда можно было управлять без серьезного анализа на основе волюнтаризма личности или толпы. Очевидно, что исследования ТМО не подменяет опытного здравомыслящего руководителя, думающего о завтрашнем дне страны, но способствует минимизации ошибок, весьма дорого обходящихся рядовому человеку.

Литература

1. Д. Кокс, У. Смит. Теория очередей. – М.: Мир, 1966. – 124 с.
2. А.Я. Хинчин. Работы по теории массового обслуживания. – М.: Физматгиз, 1963. – 98 с.

РАЗВИТИЕ ТВОРЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКИ

О.Г. Князева, ст. преподаватель

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (8-384-51) 6-44-32
E-mail: okeno@mail.ru*

Среди множества задач модернизации высшего образования в России есть и такая, как воспитание творческой личности, будущей элиты страны. Курс высшей математики обладает огромными возможностями для интеллектуального развития обучаемых, благодаря всей своей системе сообщаемых знаний, исключительной точности и ясности понятий, выводов и формулировок. Поэтому одна из целей обучения математике состоит в формировании умственной культуры студента, которую принято характеризовать определенным уровнем развития мышления, овладения обобщенными приемами рассуждений, глубокими знаниями и умением применять их в нестандартных ситуациях. Суть данного сообщения состоит в том, чтобы показать, как можно достичь этого, используя дифференцированный подход в учебном процессе технического университета.

Бесспорным фактом является убеждение в том, что некоторые личности обладают специфическими творческими задатками и что успех человека в той или иной области деятельности во многом определяется именно наличием этих задатков.

Психология теоретически и экспериментально подтвердила, что при благоприятных социальных условиях у человека создаются предпосылки для развития специальных способностей. С помощью данных возрастной психологии и физиологии можно умело управлять процессом развития таких способностей. Присущее человеку свойство развития специальных способностей не может непосредственно воздействовать на то, что усваивает человек, какие знания и умения становятся его достоянием. Но это свойство оказывает определенное влияние, как на процесс усвоения, так и на то, как реализует, использует учащийся свои знания и умения в действительности. В раннем возрасте не может быть законченной дифференциации детей по интересам. У подростков начинают проявляться специальные способности, после различных «натисков» на активизацию его задатков. Дифференциация по способностям начинается в старших классах, когда учащийся попробовал себя во всех направлениях, понял что для него интереснее и легче. Элементы дифференциального подхода активизируют стремление учащихся к знаниям. Математические способности чаще проявляются в том, с какой скоростью, как глубоко и насколько прочно люди усваивают математический материал. Это легко обнаруживается в ходе решения задач. И роль школьного педагога в этом нельзя переоценить.

О скорости можно судить по количеству заданий, решенных учеником за определенный отрезок времени, а также по времени, которое требуется разным учащимся для решения одной и той же задачи. Прочность усвоения учебного материала устанавливается по результатам проверок. Глубина усвоения определяется тем, умеет ли учащийся преобразовать для собственных нужд приём учебной работы, объяснённый ранее преподавателем. Каждая из названных характеристик не является обязательным и единственным показателем развитых математических способностей. Естественно, одарённые учащиеся – те, которые в ходе проверок, проявляют яркие признаки наличия всех указанных характеристик.

Можно привести некоторые методические принципы работы по развитию способностей учащихся, которые применимы и в (при) дифференциации. Первый принцип – это принцип активной самостоятельной деятельности учащихся. Сильные учащиеся при этом загружены всё время, хотя оформлять решение до конца для них необязательно, достаточно сообщить преподавателю о том, что

получены верные ответы. Основная часть группы справляется с меньшим числом заданий, но при этом тоже работает самостоятельно. Роль преподавателя сводится к занятию с отстающими, и к выборочному контролю. Второй принцип – принцип учёта индивидуальных и возрастных особенностей учащихся. Этот принцип предполагает наличие у преподавателя чётких представлений о возможностях каждого студента, о динамике роста его потенциала. С учетом этой динамики нужно предлагать индивидуальные задания. Они должны быть доступными для студентов средних возможностей. В то же время более способные учащиеся требуют трудных задач, на которых они могут испытать свои силы. Следующий принцип – принцип постоянного внимания к развитию различных компонентов математических способностей заставляет отметить сложность проявления этих способностей. Здесь можно заключить, что наибольшие достижения возможны при достаточном внимании ко всем компонентам математических способностей. Достигается это с помощью правильного подбора тематики задач, рассмотрения различных подходов к решению одной и той же задачи.

Творческое, открытое мышление не развивается на открытых задачах, для этого нужны открытые. Эти задачи бывают такого вида:

Изобретательская задача, исследовательская задача, конкретная, прогнозная задачи, задача с достраиваемым условием. Можно выделить три основных требования к условию учебной задачи (изобретательской и исследовательской): а) достаточное условие, б) корректность вопроса, в) наличие противоречия.

Математическая одаренность (или хорошо развитые математические способности) встречаются не так редко, как об этом принято думать. Но эти способности у разных лиц проявляются в различных направлениях и по-своему. Одни увлекаются попыткой обобщения уже найденных результатов, а также более глубоким их изучением. Другие умеют найти новые объекты для исследования и ищут методы для подхода к открытию неизвестных их качеств (свойств). Третьи сильны в логическом совершенствовании теории и с исключительной точностью замечают какие-то недочеты или ошибки в предложенных доказательствах. Четвертые увлечены глубоким анализом самых основных понятий и замечают логические связи между, казалось бы, далекими ветвями нашей науки. Пятые интересуют исследование исторического хода развития наших знаний, возникновения привычных нам понятий, формирования отдельных математических дисциплин. Шестые стремятся проникнуть в суть философских проблем нашей науки, ее отношения к изучению явлений окружающего нас мира. Седьмые, наконец, ищут и находят решения сложных и запутанных прикладных вопросов в разнообразных областях знаний. Нельзя забывать также об одной важной деятельности человека – распространению уже полученных знаний, т.е. преподаванию, популяризации науки, созданию монографий, подводивших итоги длительному развитию той или иной дисциплины.

Итак, после высказанного можно сделать вывод: изучение способностей направляет дифференциацию. А. Н. Колмогоров сказал: «Талант, одаренность, скажем, в области математики, физического эксперимента, конструирования новых приборов даны от природы не всем. Никакой упорный труд не может заменить эту природную одаренность. Он даёт действительно ценные плоды в науке лишь в соединении с одаренностью, как, конечно, и одаренность окажется бесплодной без упорного и сосредоточенного труда». Важнейшим условием развития творчества (творческих способностей) является совместная с преподаванием исследовательская деятельность. В данном случае особое значение приобретают мотивы самореализации, социальные мотивы, мотивы соревнования и др. Для актуализации этих мотивов и формирования внутренней мотивации особое значение имеет личностная включённость преподавателя в совместную деятельность со студентом.

И самое главное – это всячески поощрять человека любого возраста быть самим собой, его умение слушать своё «Я» и действовать в соответствии с его «советами». Для этого на всех этапах обучения преподаватель должен не просто декларировать своё уважение к личности ученика, но и реально чувствовать, переживать непреходящую и ни с чем несравнимую ценность каждой живой личности. Научить творчеству можно лишь в соответствующей среде. Задача ВУЗа – создать условия, способствующие развитию и приложению творческих качеств молодых людей.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Алексенко И.А. 130
 Алфёрова Е.А. 24
 Ананьева М.В. 208
 Астанин В.В. 76
 Ахунова А.Х. 280
 Бабакова Е.В. 78
 Бадмаев С.С. 38
 Байгонакова Г.А. 74
 Балыков Д.В. 22
 Батенков К.А. 296
 Башлакова А.Л. 10
 Баятанова Л.Б. 219
 Березовская О.Б. 341
 Бобровицкий Д.А. 203
 Богдан П.С. 176
 Богданов А.С. 58
 Борисенко М.В. 300
 Браславская О.Б. 303
 Бугерко Л.Н. 184
 Бударина Н.А. 127
 Валитова Э.В. 280
 Василевич Ю.В. 308
 Васильева М.М. 237
 Гаекулова Г.К. 165, 182
 Газенаур Е.Г. 251
 Галеева А.А. 118
 Галин Р.Р. 312
 Галушкина Д.Н. 237
 Гареев А.Ф. 97
 Гафнер Ю.Я. 51
 Гендрина И.Ю. 303
 Гиль Л.Б. 350
 Горлов Д.С. 226
 Готовиц Ю.М. 271
 Григорьев М.Г. 19, 102, 317
 Гринченкова Н.С. 86
 Гущина И.Н. 350
 Дармаев М.В. 38
 Дедова Е.С. 193
 Деманова В.В. 125
 Деменкова Л.Г. 201, 203, 205, 234
 Демьянов Б.Ф. 58
 Дмитриев С.В. 14, 167, 280
 Доровских С.И. 48
 Дорошенко И.В. 114
 Дорошенко О.В. 133
 Евстафьев С.Н. 352
 Ерофеева Г.В. 99
 Ерыгина Л.А. 146
 Журавлев П.Г. 222
 Журавлева С.В. 139
 Зорина Т.Ю. 343
 Зыков И.Ю. 208, 211, 215
 Иванов А.Н. 165, 182
 Ивкин А.Н. 118
 Игишева А.Л. 83
 Кайралапова А.Н. 320
 Каленский А.В. 208, 211, 215
 Карпионова И.В. 81, 88
 Карцев Д.С. 256, 262
 Каширина А.А. 22
 Квеглис Л.И. 62
 Киреева О.А. 239
 Киселев М.Г. 172, 176
 Кистанов А.А. 27
 Князева О.Г. 345, 354
 Кожубеков С.К. 260
 Кондратова А.А. 107
 Копаница Г.Д. 337
 Корзникова Е.А. 17
 Кормишина Н.В. 31
 Корниенко Л.А. 33
 Котова Д.О. 239
 Крампит Н.Ю. 260
 Кригер В.Г. 222
 Кузнецов М.А. 256, 262
 Кузьминский Ю.Г. 300
 Кульков С.Н. 193
 Курбанбеков Ш.Р. 150
 Кыпчаков А.А. 74
 Латыпова Л.Ш. 198
 Легостаева Н.В. 163
 Литвиненко В.В. 83
 Лукатова С.Г. 215
 Лутфуллин Р.Я. 230
 Макаревич Т.Г. 237
 Макаров С.В. 156
 Маренец В.Г. 251
 Мартемьянов Д.В. 247, 266
 Мартемьянова И.В. 266
 Медведев Д.В. 153, 158
 Мещеряков Р.В. 312
 Минаева Л.А. 141
 Мойсейчик А.Е. 143
 Молдабаева Г.С. 62
 Мониц С.Г. 172
 Мочалов А.В. 161
 Мулюков Р.Р. 230
 Мункуева С.Б. 41
 Мурзаев Р.Т. 27
 Муталибов З.А. 189
 Мухаметрахимов М.Х. 230
 Мухортов Д.Н. 247
 Мухортова Ю.Р. 247
 Нгуен Суан Тьук 33
 Нестерова Т.Ю. 163
 Нифталиев С.Е. 324
 Нургали Ж.Н. 326
 Оганян Л.А. 274
 Одинцова О.В. 211
 Орлова К.Н. 107, 114, 116, 125, 127
 Панин С.В. 33
 Пичугина М.В. 205
 Плотников Е.В. 266
 Полещук О.Х. 135
 Полицинский Е.В. 92, 104, 121, 135
 Пушкарева Н.С. 350
 Рахадиллов Б.К. 268
 Рахадиллов М.К. 268
 Родзевич А.П. 251
 Романовский С.А. 65
 Рустембеков К.Т. 35
 Рустембекова Г.К. 35
 Рыспаева М.К. 328
 Савин О.Б. 97
 Сайлаукызы Ж. 330, 333
 Сандитов Д.С. 38, 41
 Сапожков С.Б. 156, 271
 Семенов А.С. 14
 Семенов А.А. 116
 Серёгин С.В. 336
 Серикбол А. 277
 Скаков М.К. 68, 146, 150, 219
 Скирневский Н.О. 135
 Складорова Е.А. 99
 Слобода А.А. 76
 Соболева Э.Г. 43, 83, 118
 Советханова А.А. 268
 Соколова С.В. 343, 352
 Сорокин П.Д. 90
 Сотокина Ю.В. 109
 Старостенков М.Д. 65
 Степанов А.П. 109
 Суrowая В.Э. 184
 Суrowой Э.П. 184
 Сухорукова А.А. 139
 Сыдыков В.С. 41
 Тажибаева Г.Б. 62
 Талантов Н.Т. 234
 Танчев М.О. 72
 Тараник М.А. 337
 Телицын А.А. 90
 Теслева Е.П. 72, 81, 86, 88, 90
 Тимербаев Г.Г. 165, 182
 Тимофеев Ю.И. 300
 Тимохин А.М. 189
 Тойшыбек Э.Н. 330, 333
 Томило Е.В. 308
 Торосян В.Ф. 195, 198, 226
 Трофимова А.А. 195
 Туева К.С. 251
 Турушев Н.В. 19, 102, 317
 Тявловский А.К. 172
 Уазырханова Г.К. 68
 Федосеев С.Н. 244, 274, 277
 Федюк Р.С. 161, 189
 Филатова Е.Г. 141
 Филимоненко А.Г. 109
 Хадеева Л.З. 27
 Хазгалиев Р.Г. 167, 230
 Хайруллин Р.Р. 48
 Халиков А.Р. 167
 Циванюк А.А. 341
 Чакылдаков Н.Ж. 201
 Чепкасов И.В. 51
 Черных Е.И. 271
 Черняков А.А. 24
 Чудинова А.О. 78
 Чуриков В.А. 283, 290, 293
 Чуть А.М. 56
 Шадрин В.С. 193
 Шарафутдинова А.С. 242
 Шилько С.В. 300
 Шмидт Ф.В. 72
 Щербачев В.Н. 312
 Эттель В.А. 320, 324, 328
 Яшин О.В. 65

Научное издание

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Сборник трудов
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, Т.С. Катрук


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 10.04.14. Формат 60х84/8. Бумага «Снегурочка»
Печать XEROX. Усл. печ. л. 47,98 . Уч.-изд. л. 37,58.
Заказ 263-14. Тираж 150 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru