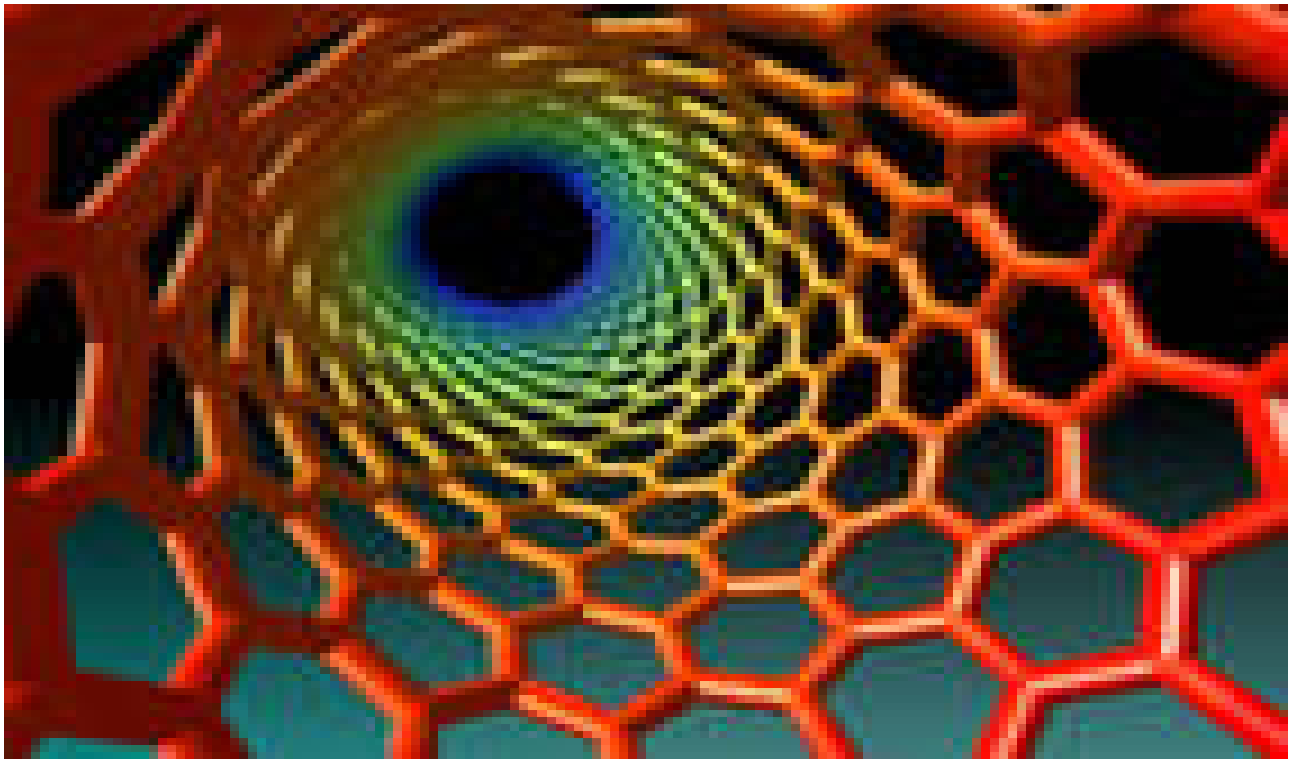
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ



Материалы
V Региональной научно-практической конференции
с международным участием

(Омск, 15 апреля 2016 г.)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Омский государственный технический университет»

Кафедра «Физика»

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

Материалы
V Региональной научно-практической конференции
с международным участием

(Омск, 15 апреля 2016 г.)

Научное текстовое электронное издание
локального распространения

Омск
Издательство ОмГТУ
2016

Сведения об издании: 1, 2

© ОмГТУ, 2016

ISBN 978-5-8149-2231-1

УДК 001
ББК 72
А43

Редакционная коллегия:
А. И. Блесман, к.т.н., доцент, зав. каф. физики ОмГТУ;
В. К. Волкова, к.т.н., доцент каф. физики ОмГТУ;
О. В. Малий, инженер каф. физики ОмГТУ

Актуальные проблемы современной науки : материалы V Реги-
А43 он. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Омск, 15 апр. 2016 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ, каф. «Физика» ; [редкол.: А. И. Блесман, В. К. Волкова, О. В. Малий]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016.

ISBN 978-5-8149-2231-1

Рассмотрены вопросы, касающиеся следующих направлений: материаловедения, нанотехнологий, физики, образования.

Издание адресовано научным сотрудникам, аспирантам и студентам, а также всем, кого интересуют проблемы современной науки.

УДК 001
ББК 72

ISBN 978-5-8149-2231-1

© ОмГТУ, 2016

1 электронный оптический диск

Оригинал-макет издания выполнен в Microsoft Office Word 2007
с использованием возможностей Adobe Acrobat X.

Минимальные системные требования:

- процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше;
- оперативная память 256 Мб;
- свободное место на жестком диске 260 Мб;
- операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7;
- разрешение экрана 1024×576 и выше;
- акустическая система не требуется;
- дополнительные программные средства Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше.

Издается в авторской редакции
Компьютерная верстка *Ю. П. Шелехиной*

Сводный темплан 2016 г.
Подписано к использованию 29.04.16.
Объем 6,01 Мб.

Издательство ОмГТУ.
644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12
Эл. почта: info@omgtu.ru

Секция 1

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.762:661.655.1

В.В. Акимов, А.Ф. Мишуров, А.Ю. Грязнов, Е.В. Акимова
Сибирская государственная автомобильно – дорожная академия, г. Омск, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ TIC ОТ СОДЕРЖАНИЯ СВЯЗУЮЩЕЙ ФАЗЫ TINI

Аннотация. В работе изучена жаростойкость твердосплавных безвольфрамовых и вольфрамосодержащих композитов с цементующими фазами из TiNi и Co с различным объемным содержанием в условиях высокотемпературного окислительного нагрева до 900°С в печи со скоростью нагрева 5 *град/мин.*. Установлено, что применение связующей интерметаллидной фазы TiNi позволяет повысить уровень жаростойкости, коррозионной стойкости твердых безвольфрамовых сплавов в сравнении со сплавами ВК3М, ВК8, Т30К4, ТН – 20.

Ключевые слова: жаростойкость, окисление, коррозионная стойкость, твердые сплавы, связующая фаза, изменение массы.

Введение. Известно, что под жаростойкостью понимают – способность материалов противостоят химическому разрушению под воздействием горячего воздуха или другого газа. Эта характеристика существенна для материалов, работающих при повышенных температурах в агрессивных средах, например, в выхлопных газах.

Развитие современной науки, техники и производства ставит перед исследователями задачу создания новых материалов или покрытий с набором нужных свойств. Установлено, что материалы титанвольфрамовой и вольфрамовой групп обладают высокой стойкостью к ударным нагрузкам и хорошей износостойкостью, но имеют низкую коррозионную стойкость, что ограничивает возможность их применения в атмосферных условиях при повышенных температурах [1].

Поэтому использование твердых безвольфрамовых композитов на основе карбида титана позволяет значительно повысить стойкость изделий из них к окислению, сохранив при этом высокую износостойкость и прочность. Однако безвольфрамовые твердые сплавы имеют недостаточно широкое применение, так как их физико – химические свойства, как жаростойкость и окалиностойкость, ещё недостаточно изучены.

Поэтому сочетание высоких значений прочности, жаростойкости, низкой плотности и стабильностью в широком температурном интервале позволяет использовать твердые сплавы в ответственных узлах деталей машин и механизмов, подвергающихся значительным нагрузкам при достаточно высоких температурах. В результате применения в качестве связующей фазы TiNi позволит повысить уровень характеристик твердого безвольфрамового сплава, состав тугоплавкого соединения TiC, как правило, не изменяется.

Основная цель работы состоит в оценке термодинамической стабильности компонентов сплава, вероятности их окисления и возможности появления фаз, влияющих на свойства сплава. Высокой жаростойкостью в агрессивной воздушной среде при нагревании может обладать материал, все структурные компоненты которого (зерно и цементирующая связующая фазы) проявляют высокую устойчивость к её действию.

Сравнение поведения твердого сплава на основе карбида титана со связующей фазой TiNi в агрессивной среде при нагревании со сплавами вольфрамосодержащей группы и сплавом ТН – 20 являлись задачей нашего исследования.

Методика эксперимента. Для экспериментальных исследований использовали компоненты твердого сплава TiC – TiNi с объемным содержанием связующей фазы (30,40,50,60,70) об %. Образцы для исследования готовили по применяемой нами технологии: размол и смешивание компонентов в среде ацетона, сушка, замешивание на пластификаторе (5% - ном растворе каучука в бензине), сушка, просеивание, прессование образцов, вакуумное спекание при 1350°С [2,3]. В качестве исходного материала использовали смесь порошков карбида и никелида титана.

Размер частиц карбида титана составлял от 2 до 15 мкм, никелида титана от 5 до 50 мкм. Связывающая фаза интерметаллида TiNi достаточно хорошо смачивает карбид титана TiC, с углом смачивания (18 - 25)°С [4,5,6].

Образцы для исследования представляли штабики с квадратным сечением (5 х 5) мм и длиной 15 мм, которые предварительно были отшлифованы на алмазных пастах с различной дисперстностью поликристаллических алмазов. Получали образцы методом порошковой металлургии в специальных пресс – формах при давлении (150 ± 10) МПа с последующим жидкофазным спеканием в вакуумной печи СШВ 1,25/25 – ИІ – ІРОО при давлении не выше $7 \cdot 10^{-2}$ Па и температуре 1350°С.

Определить жаростойкость твердых безвольфрамовых сплавов на основе TiC со связующей фазой TiNi можно при нагревании от комнатной температуры до 900°С выдержке при этих температурах с последующим охлаждением образцов материалов и сравнением их с жаростойкостью твердых сплавов ТН – 20, ВК3М, ВК8, Т30К4 находящихся при одинаковых условиях.

Нагрев образцов твердых сплавов проводили в печи SNOL 7,2/1300 с автоматической выдержкой температуры по шкале дисплея в течение 1,4,8,16,24 часов со скоростью нагрева $5\,{}^{град}\!/_{мин}$. Косвенной оценкой жаростойкости может служить стойкость материала к окислению в заданных температурных условиях, определенное по изменению массы образца, отнесенному к единице поверхности. Изменение массы измеряли на весах ВЛР – 200 с точностью ±0,5 мг.

Расчет отрицательного изменения массы определяли по формуле:

$$K = \frac{m_0 - m}{S} = \frac{dm}{S}$$

где m_0 - масса образца до испытания, m – масса образца после выдержки в газовой среде при температуре, S – площадь образца, $мм^2$. Общее время испытаний определяли исходя из времени наработки оборудования и технологической оснастки в эксплуатации.

Экспериментальные результаты и их обсуждение.

В работе проведены исследования отрицательного изменения массы образцов в результате их окисления на воздухе в печи при нагревании до 900°С и выдержке в течение 1,4,8,16,24 часов и сравнении с соответствующими зависимостями композитов ВК3М, ВК8, Т30К4, ТН – 20 [табл. 1].

Таблица 1

Изменение привеса образцов от температуры нагрева и времени выдержки

Состав сплава в об %	Температура окисления образцов с выдержкой (1,4,8,16,24) часа	Отрицательное изменение массы $K \cdot 10^{-5}\,{}^{г}\!/_{мм^2}$
30 TiC - 70TiNi	900	64,64; 39,19; 47,41; 73,67; 50,24
40 TiC - 60TiNi	900	49,39; 41, 97; 35,88; 44,19; 16,81
50 TiC - 50TiNi	900	18,83; 17,28; 12,55; 13,49; 38,58

60 TiC - 40TiNi	900	13,33; 9,32; 8,46; 10; 39; 8,32
70 TiC - 30TiNi	900	9,95; 11,04; 1,73; 7,94; 8,45
ТН – 20	900	8,20; 9,35; 11,28; 13,85; разрушился
ВК3М	900	разрушился
ВК8	900	разрушился
Т30К4	900	264,96; разрушился

Из экспериментальных результатов видно (табл.1), что наиболее жаростойкими являются сплавы с содержанием связующей фазы TiNi в 50 об %, 40 об %, 30 об % при нагреве до 900°С и выдержке (1,4,8,16,24) часа. Такие сплавы имеют небольшой отрицательный привес. Твердые сплавы ВК3М, ВК8, Т30К4 сильно растрескались и окислились, что указывает на низкую жаропрочность (рис.1).

Рис.1 Вид образцов твердых сплавав после нагрева до 900°С и выдержке при этой температуре в течение 1 часа: 1 – ВК3М; 2 - ВК8; 3 - Т30К4

Твердый безвольфрамовый сплав ТН – 20 имел также низкую окисляемость, как и сплавы на основе связующей фазы TiNi, но и он растрескался при температуре 900° С с выдержкой в течении суток. Твердые сплавы состава (TiC – TiNi) об % полностью сохранили свою форму с окислительным налетом на поверхности образцов в виде светло – серого цвета (рис.2).

Рис. 2 Вид образца сплава (60 TiC - 40TiNi) об % после нагрева до 900°С и выдержке в течение 1 часа.

Результаты рентгеноструктурного анализа показывают, что слой окалины содержит диоксиды титана (рутил, анатаз), а также небольшое количество монооксида никеля [2]. Данные результаты позволяют сделать обоснование о двухкомпонентном составе оксидного слоя твердого сплава на основе TiC со связующей фазой TiNi. Внешний светлый слой представлен оксидом титана TiO_2, а внутренний более темный $NiO \cdot TiO_2$ [1,7].

Анализ процессов окисления твердых безвольфрамовых сплавов TiC – TiNi позволяет сделать предположение, что направлении от сплавов к внешним слоям окалины прослеживается цепь превращений TiNi – $TiNi_3$ - (Ni(Ti)) – Ni – $NiO \cdot TiO_2$.

Кроме того проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о высокой жаростойкости и теплостойкости твердых сплавов системы TiC – TiNi при достаточно высоких температурах (700 - 900°C), достаточно длительное время от (1 до 24) часов. Данный композиционный материал можно использовать для изготовления инструментов и конструкционных изделий, работающих в условиях интенсивного износа и динамических нагрузок.

Библиографический список

1. Войтович, Р.Ф. Окисление карбида титана при различном давлении кислорода. / Р.Ф. Войтович, Э.И. Головко. Порошковая металлургия. – 1978. - №3. – С. 55 – 60.
2. Акимов, В.В. Механизм жидкофазного спекания твердосплавных композитов TiC – TiNi. / В.В. Акимов. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2006. - №6. – С.18-19.
3. Акимов, В.В. Изучение спекания и формирование структур сплавов на основе TiC с неравновесным состоянием связующей фазы TiNi. / В.В. Акимов, Б.А. Калаческий, М.В. Пластинина и др. – Омский научный вестник, 2002. – Вып. 19. – С. 76 – 78.
4. Панов, В.С. Взаимодействие карбида и карбонитрида титана с никелидами. / В.С. Панов, А.В. Туманов, Ю.А. Коц. Порошковая металлургия. – 1986.- №10. – С.81 – 84.
5. Жиляев В.А. Закономерности контактного взаимодействия карбидв титана с Ni и Ni – Mo расплавами/ В.А. Жиляев, Е.И. Патраков, В.В. Федоренко. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. - №1- С. 19-26.
6. Жиляев В.А. Кинетика и механизм контактного взаимодействия карбонитрида титана с Ni – Mo расплавом/ В.А. Жиляев, Е.И. Патраков. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – №2. – С. 30 – 37.
7. Акимов, В.В. Зависимость твердости и теплостойкости твердых сплавов TiC – TiNi от температуры нагрева. / В.В. Акимов, А.Ф, Мишуров, Ю.К. Корзунин. Омский научный вестник. – 2005. - №2(31). – С. 91 – 93.

УДК 621.793.71

В.А. Безрукова, Е.Е. Корниенко, В.И. Кузьмин[1]
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.
[1]Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ B_4C-Ni

Аннотация. В настоящей работе покрытия B_4C-Ni наносили на трубы из низкоуглеродистой стали при помощи воздушно-плазменного напыления. Методами оптической и растровой микроскопии, а также рентгенофазового анализа показано, что материал покрытия состоит из не растворившихся до конца в плазменной струе частиц карбида бора (B_4C) разме-

рами до 30 мкм, равномерно распределенных в металлической матрице. Матрица представляет собой бориды никеля NiB и Ni_3B, а также Ni. Кроме того, рентгенофазовым анализом было выявлено наличие оксида бора (B_2O_3) в покрытии.

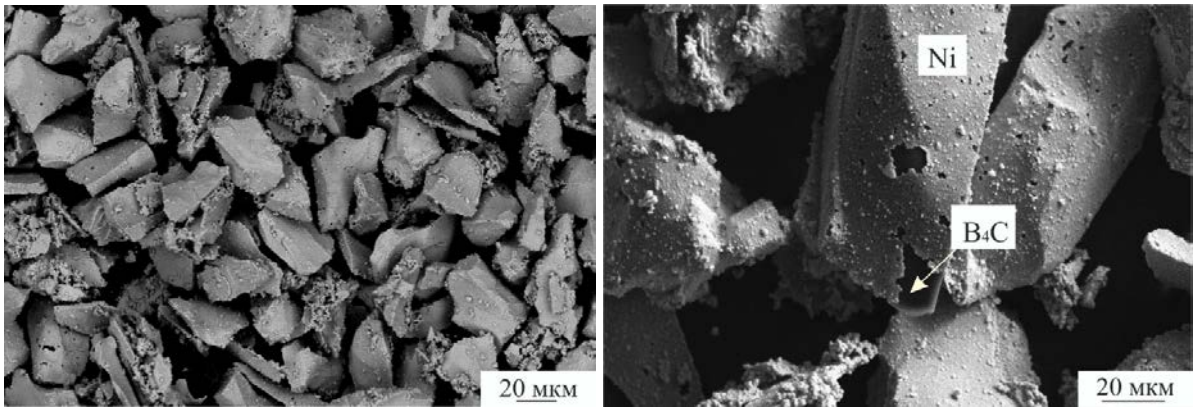
Ключевые слова – плазменное напыление, плакированный порошок, карбид бора, B_4C-Ni, покрытие.

Введение. Неотъемлемой частью современного машиностроения является возможность обработки материалов резанием. Режущий инструмент работает в тяжелых условиях, поэтому к нему предъявляют ряд специальных требований, таких как: высокая твердость, износостойкость, теплостойкость и механическая прочность [1]. В настоящее время основными материалами для изготовления многолезвийных инструментов (имеют более одной главной режущей кромки), а также режущих пластин, являются высокоуглеродистые или инструментальные стали, твердые сплавы, минералокерамики, а также естественные и искусственные твердые минералы. Стоит отметить, что возможно нанесение специальных износостойких покрытий на менее твердые материалы, что является экономически выгодным решением [2,3].

Одним из материалов, обеспечивающих требуемые выше свойства, является карбид бора (B_4C) [1,5-8]. Основными способами изготовления объемных изделий из карбида бора являются плавление под давлением инертного газа, горячее прессование и холодное прессование с последующим спеканием [9]. Кроме того, известно, что широко используются различные технологии нанесения покрытий из этого материала, например, вневакуумная электронно-лучевая наплавка [10], а также HVOF (high velocity oxy-fuel) и плазменное напыление [7,9,11]. В настоящей работе, в качестве способа нанесения покрытий из B_4C, использовали воздушно-плазменное напыление. Известно, что эта технология отличается своей простотой и экономичностью [2]. Кроме того, это один из немногих способов, позволяющий наносить покрытия из тугоплавких соединений [3,5-7]. Тем не менее, существуют определенные трудности при формировании покрытий из карбида бора данным методом, что связано с низкой теплопроводностью и пластичностью напыляемого порошка [4-6]. Одним из решений данной проблемы является добавка к порошку B_4C материалов, обладающих высокой теплопроводностью и пластичностью, например, таких металлов, как Ni, Cu и Al.

В настоящей работе исследовали структурные особенности плазменных покрытий системы B_4C-Ni.

Методика проведения эксперимента. В качестве материала для нанесения покрытий использовали порошок карбида бора (80 ат. % B и 20 ат. % C) B_4C, плакированный 30 вес. % никеля. Стоит отметить, что кроме бора, углерода и никеля в составе порошка был обнаружен фосфор. Размеры частиц порошка находились в диапазоне от 40 до 100 мкм. Изображение частиц напыляемого порошка представлено на рис. 1.



а б

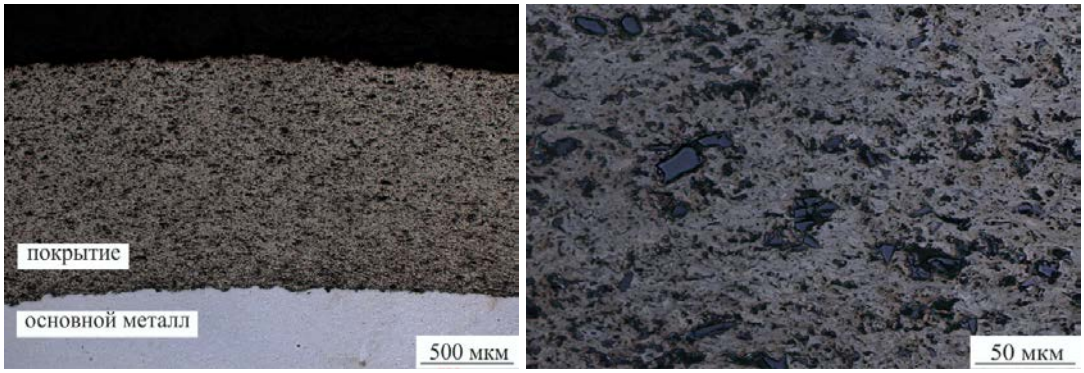
Рис. 1 Общий вид частиц напыляемого порошка (а) и частицы порошка, с отслоившимся покрытием (б).

Порошок напыляли на трубы из низкоуглеродистой стали 20 с внутренним диаметром 25 мм и толщиной стенки 3 мм. Напыление покрытий проводили в Институте прикладной и теоретической механики СО РАН на установке плазменного напыления порошковых материалов «Термоплазма 50-01» с кольцевым вводом порошка. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа использовали воздух, в качестве защитного – смесь воздуха и пропан-бутана. Режимы напыления: сила тока – 180 А, напряжение – 265 В, дистанция напыления – 170 мм. Перед напылением поверхность труб подвергали пескоструйной обработке.

Структурные исследования выполняли на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer A1m и растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP с микроанализатором EDS X-Act. Образцами для структурных исследований выступали поперечные микрошлифы, запрессованные в полимерную матрицу и подготовленные по стандартной методике. Фазовый состав покрытий был изучен с использованием рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA.

Микротвердость структурных составляющих в покрытиях оценивали на приборе Wolpert Group 402MVD при нагрузке 50 г. Образцами для исследований являлись нетравленные микрошлифы.

Результаты исследований. Внешний вид покрытия приведен на рис. 2, а. Видно, что покрытие имеет высокую плотность и хорошее сцепление с подложкой. Его толщина составляет 1000…1200 мкм. Более высокое разрешение позволило выявить, что в металлической матрице равномерно распределены серые частицы, размерами до 30 мкм (рис. 2, б).



а б

Рис. 2 Микроструктура покрытия: а – панорамное изображение, б – изображение на больших увеличениях

Согласно данным рентгенофазового анализа в покрытии, как и в исходном порошке, наблюдаются фазы Ni и B_4C (рис. 3). Уширение пиков никеля на рентгенограмме порошка свидетельствует об его аморфном состоянии. Известно, что при плазменном напылении порошков могут протекать следующие процессы: образование твердых растворов, синтез новых химических соединений, а так же взаимодействие частиц с окружающей средой [1]. Видно, что на рентгенограмме покрытия кроме рефлексов Ni и B_4C, наблюдаются также рефлексы боридов никеля (NiB и Ni_3B) и оксида бора (B_2O_3). Формирование боридов никеля обусловлено частичным разложением карбида бора в плазменной струе и последующей реакцией Ni с B. Это свидетельствует о нестабильности соединения B_4C при высоких температурах. Формирование оксида B_2O_3 в покрытии говорит о недостаточной защите порошка в плазменной струе.

Данные, полученные микрорентгеноспектральным анализом, приведены в табл. По результатам элементного анализа, было выявлено, что участок 1 на рис. 4 – это нераспавшиеся частицы B_4C. Металлическая матрица (участок 2 на рис. 4) представляет из себя бориды никеля (NiB и Ni_3B), а так же Ni. Участок 3 на рис. 4, с повышенным количеством углерода, это, вероятнее всего, поры, которые были заполнены смолой при подготовке микрошлифов.

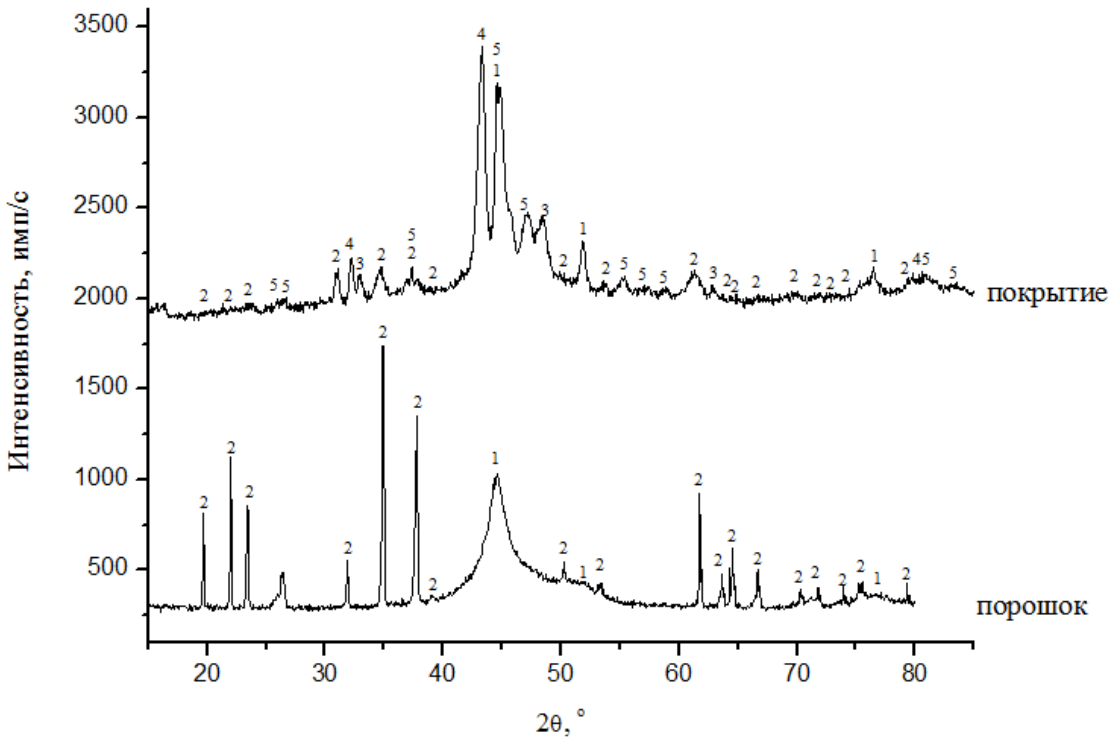


Рис. 3 Результаты рентгенофазового анализа: 1 – Ni, 2 – B_4C, 3 – NiB, 4 – B_2O_3, 5 – Ni_3B

Таблица

Результаты локального химического анализа, ат. %.

Участок	i	B	C	P
1	-	89.87	10.13	-
2	25.37	59.53	12.23	2.87
3	9.35	-	90.65	-

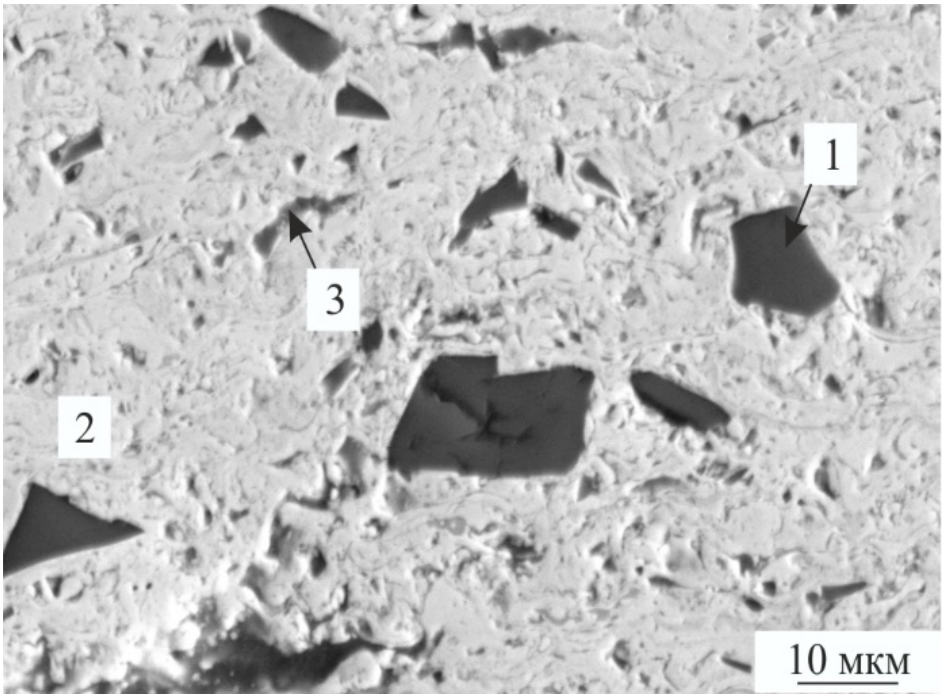


Рис. 4 Микроструктура плазменного покрытия.

Полученные данные подтверждаются и измерениями микротвердости. Так, микротвердость карбида бора составляет около 30...40 ГПа,а значения твердости основы в 4…5 раз выше значений микротвердости чистого никеля - 4,5…5,5 ГПа. Это соответствует литературным данным: микротвердость B_4C – 30…31 ГПа, NiB – 15…16 ГПа и Ni_3B – 11…12 ГПа [12].

Выводы

1. Оптической микроскопией показано, что плазменные покрытия B_4C-Ni имеют высокую плотность и хорошую адгезию.

2. Методами растровой электронной микроскопии и рентгенофазового анализа выявлено, что материал плазменных покрытий состоит из частиц B_4C размерами до 30 мкм, равномерно распределенных в металлической матрице (бориды никеля (Ni_3B и NiB) и Ni). Кроме того, в покрытии присутствует оксид бора (B_2O_3).

3. Измерениями микротвердости показано, что твердость металлической матрицы - 4,5...5,5 ГПа, частиц B_4C - 30...40 ГПа.

Библиографический список

1. Апасов А.М., Галевский Г.В., Данилов В.И. Материаловедение: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ. 2005. 622 с.
2. Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И. Методы исследований материалов: Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий. – М.: Мир, 2004. 384 с.
3. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977. 184 с.
4. Yilbas B.S., Karatas C. Laser treatment of boron carbide surfaces: Metallurgical and morphological examinations // Journal of Alloys and Compounds. 2014. V. 603. P. 125-131.
5. Hayun S., Kalabukhov S., Ezersky V., Dariel M.P., Frage N. Microstructural characterization of spark plasma sintered boron carbide ceramics // Ceramics International. 2010. V. 36. P. 451–457.
6. Sahibzada Shakir Rehman, Wei Ji, Shahzad Ahmad Khan, Muhammad Asif, Zhengyi Fu,Weimin Wang, Hao Wang, Jinyong Zhang, Yucheng Wang. Microstructure and mechanical properties of B_4C based ceramics with Fe_3Al as sintering aid by spark plasma sintering // Journal of the European Ceramic Society. 2014. V. 34. P. 2169–2175.
7. Huiying Zhu, Yaran Niu, Chucheng Lin, Liping Huang, Heng Ji, Xuebin Zheng. Microstructures and tribological properties of vacuum plasma sprayed B4C–Ni composite coatings // Ceramics International. 2013. V. 39. P. 101–110.
8. Rafiei M., Salehi M., Shamanian M., Motallebzadeh A. Preparation and oxidation behavior of B_4C–Ni and B_4C–TiB_2–TiC–Ni composite coatings produced by an HVOF process // Ceramics International. 2014. V. 40. P. 13599–13609.
9. Рисованный В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П., Гусева Т.М. Бор в ядерной технике. 2е, перераб. и доп. – Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2011. 668 с.
10. Krivezhenko D.S., Laptev I.S., Zimoglyadova T.A. Electron-Beam Cladding of Boron Carbide on Low-alloyed Steel at the Air Atmosphere // Applied Mechanics and Materials. 2015. V. 698. P. 369-373.
11. *Kornienko E.E., Nikulina A.A., Lapushkina E.U., Kuz'min V.I., Kartaev E.V., Sergachev D.V.* Structural research of boron carbide coatings received by plasma sprayinginterfinish-seria // 2014 International Conference on Surface Engineering for Research and Industrial Applications. Novosibirsk, 2014. P.68
12. Алексеев А.Г., Бовкун Г.А., Болгар А.С. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справ. изд. / Под ред. Косолаповой Т.Я. – М.: Металлургия, 1986. – 928 с.

УДК 621.791.01

А.С. Денисова, А.А. Никулина, А.А. Охременко
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

Аннотация. В данной работе исследуется структура и свойства сварных соединений между заготовками из сталей Э76 и 12Х18Н10Т, полученными методом стыковой контактной сварки. Главной проблемой при сварке данных материалов является низкая трещиностойкость сварных соединений, обусловленная образованием структур мартенситного типа. Для исследования влияния термической обработки были использованы методы световой и растровой электронной микроскопии, микрорентгеноспектральный анализ, а также измерение микротвердости по методу Виккерса. Структурные исследования показали, что проведение отпуска не способствует повышению надежности сварного соединения. Высокотемпературный отжиг также не увеличивает надежность и, кроме того, является экономически нецелесообразным.

Ключевые слова: разнородные стали, контактная сварка, структура, термическая обработка.

Введение. Легированные стали хорошо справляются с определенными нагрузками, температурами или средами. Однако из-за высокой стоимости из них изготавливают лишь особо ответственные узлы, в то время как основная часть конструкции изготавливается из более дешевого материала. Для соединения нескольких частей изделия используют сварку. В связи с этим появляется такая проблема как сварка разнородных материалов. Очень часто в зоне сварного шва происходит формирование хрупких высокопрочных структур, которое приводит к понижению трещиностойкости. При сварке разнородных сталей следует учитывать различное структурное состояние и химический состав соединяемых деталей, а также условия охлаждения сварного шва [1, 2].

Одним из примеров использования сварки разнородных материалов является соединение элементов железнодорожных стрелочных переводов. Крестовина (сталь 110Г13Л) присоединяется к рельсовым окончаниям (сталь Э76) через промежуточную вставку (сталь 12Х18Н10Т) при помощи контактной стыковой сварки. Хромоникелевая сталь относится к аустенитному классу, а рельсовая – к перлитному, поэтому не исключается возможность образования трещин в зоне сварного шва. Для того чтобы повысить надежность сварного соединения, необходимо уменьшить количество мартенсита в пришовной зоне или понизить уровень его прочностных характеристик. Одним из вариантов решения данной проблемы является применение термической обработки [3].

Целью данной работы является выявление влияния термической обработки на структуру и свойства сварных швов, полученных между заготовками из сталей Э76 и 12Х18Н10Т. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: проведение термической обработки, исследование структуры и микротвердости сварных швов в исходном состоянии и после термической обработки.

Материалы и методы исследования. Объектом исследований является сварное соединение заготовок разнородных сталей 12Х18Н10Т и Э76, выполненное контактной стыковой сваркой. Данные стали относятся к разным структурным классам и отличаются по теплофизическим свойствам и химическому составу. Структурные исследования образцов проводились на световом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer.Z1m, растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP с энергодисперсионным анализатором. Оценку микротвердости проводили на микротвердомере для проведения испытаний по Виккерсу 402MVD.

Результаты и обсуждение. Причиной разрушения сварного соединения является наличие хрупкой высокопрочной структуры в зоне сварного шва. В процессе сварки происходит перемешивание свариваемых материалов, а также диффузия легирующих элементов в пришовную зону. В результате в сварном шве образуется высоколегированная высокоуглеродистая прослойка (рис. 1).

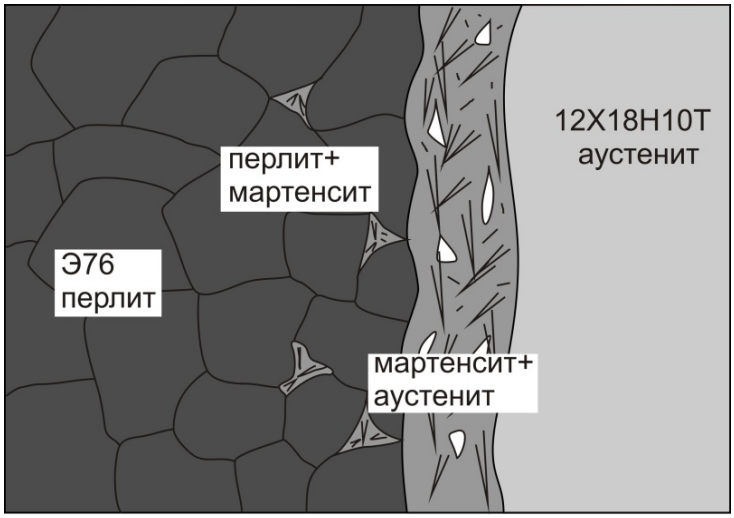


Рис. 1 Схема исходного состояния сварного соединения.

Формирование мартенсита на месте этой прослойки происходит даже при медленном охлаждении. На рисунке 2–а представлено исходное строение сварного соединения. В результате перемешивания сталей в процессе сварки формируются локальные легированные включения (рисунок 2–б). Металлографический анализ образцов показал, что локальные закаленные участки наблюдаются на расстоянии до 1000 мкм от сварного шва. Микротвердость таких участков около 600 HV. Микрорентгеноспектральный анализ показал, что в данных областях содержится до 5 % Cr и 3 % Ni [4].

а б

Рис. 2 Сварное соединение: а - исходное строение сварного шва,
б – локальные закаленные участки.

После отпуска при температурах 300 °С, 400 °С и 500 °С особых изменений в структуре сварного шва не произошло. Проведенные исследования подтвердили наличие достаточно широкой переходной зоны со стороны стали Э76, где наблюдаются локальные участки хромоникелевой стали, имеющие аустенитно-мартенситное строение. Толщина переходного слоя увеличилась с 1000 до 1400 мкм. Мартенсит в локальных зонах обладает высоким уровнем микротвердости – 550 HV. При этом твердость рельсовой и хромоникелевой сталей составляет 370 и 260 HV, соответственно. Такой большой перепад в значениях микротвердости негативно сказывает-

ся на надежности сварного шва. Распределение значений микротвердости в зависимости от расстояния от видимой границы раздела сталей представлено на рисунке 3.

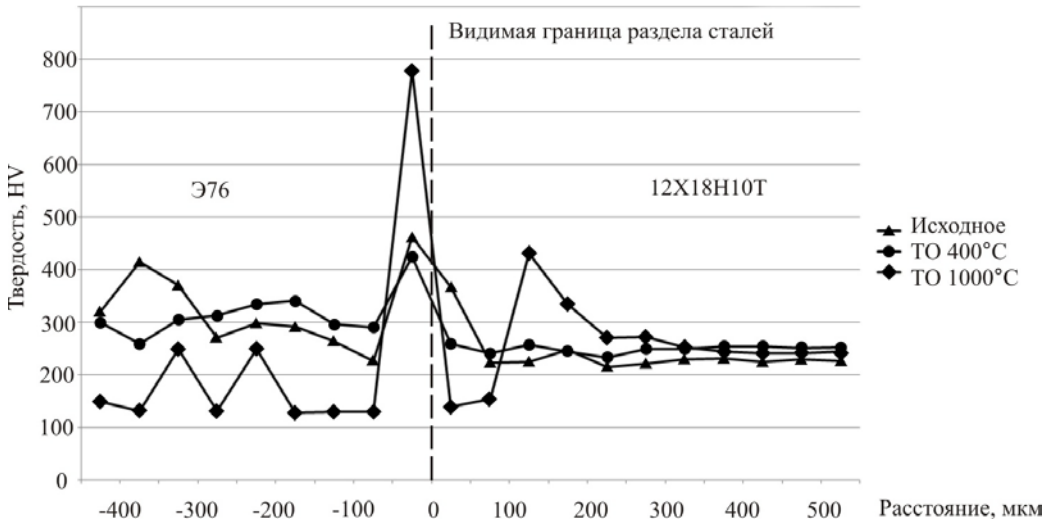


Рис. 3 Распределение микротвердости по сечению образца в исходном состоянии и после термической обработки.

Отпуск при температуре 800 °С приводит к увеличению ширины переходной зоны до 2000 мкм. Также в зоне сварного шва присутствуют локализованные закаленные зоны и аустенитные зоны, в которых нет мартенсита. Значение твердости переходного слоя снижается до 150 HV за счет формирования самостоятельного ферритного слоя и затем феррито-перлитного слоя с микротвердостью 260 HV. При этом микротвердость мартенсита в локальных участках колеблется от 350 до 700 HV. Такой разброс значений микротвердости мартенсита вызван различием химического состава микрообъемов аустенита, из которого он образовался.

Отжиг при температуре 1000 °С значительно изменяет структуру сварного шва (рисунок 4–а). Активная диффузия приводит к увеличению ширины переходной зоны до 7000 мкм. Структура рельсовой стали вблизи сварного шва представляет собой смесь перлитных колоний и ферритных зерен (рисунок 5–а). Металлографические исследования показали, что в локальных включениях хромоникелевой стали, а также на границе раздела сталей отсутствует мартенсит. По мере приближения к границе раздела сталей наблюдается повышенное количество карбидов по границам и в теле аустенитного зерна (рисунок 4–б).

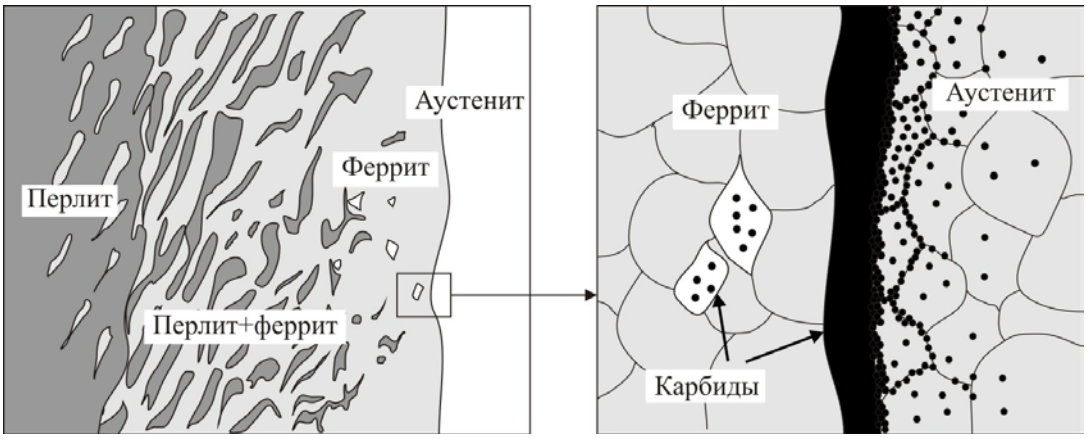


Рис. 4 Схема сварного соединения после высокотемпературного отжига:
а – структура сварного шва, б – карбиды по границам и в теле аустенитного зерна.

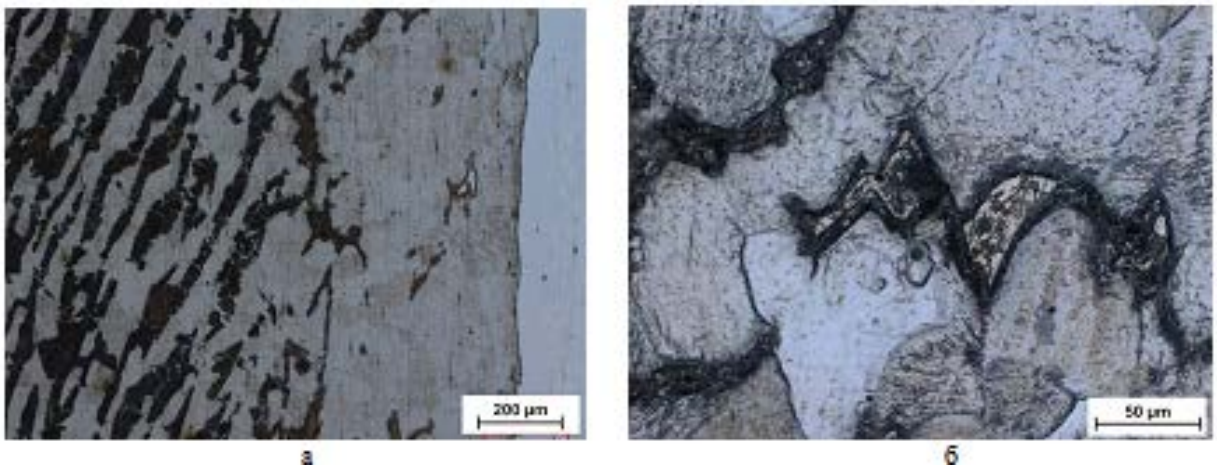


Рис. 5 Сварное соединение после высокотемпературного отжига:
а – общий вид, б – карбиды в локальных аустенитных включениях.

Значение микротвердости переходного слоя снизилось до 140 HV за счет формирования ферритных зерен, при этом твердость локальных включений достигает 800 HV, это связано с образованием карбидов (рисунок 5–б).

Выводы

Выполнив все необходимые структурные исследования, можно отметить, что отпуск при различных температурах не приносит существенных изменений в строении сварных швов. Твердость локальных участков с аустенитно-мартенситной структурой вне зависимости от температуры термической обработки высока и составляет около 700 HV. Твердость исходных сталей незначительно понижается.

Высокотемпетарурный отжиг приводит к формированию ферритной прослойки с пониженной твердостью, значительному увеличению переходной зоны, а также образованию карбидов в локальных областях углеродистой стали и переходной зоне сварного шва, примыкающей к хромоникелевой стали. Твердость таких областей достигает 800 HV, что негативно сказывается на надежности сварного соединения.

Таким образом, применение термической обработки не решает проблему трещиностойкости. В дальнейшем планируется провести структурные исследования и механические испытания сварного соединения с двумя промежуточными вставками из стали 12Х18Н10Т и низкоуглеродистой стали после термической обработки.

Библиографический список

1. Генкин И.З. Сварные рельсы и стрелочные переводы / И.З. Генкин // Путь и путевое хозяйство. – 2000. – № 12. – С. 14-20.

2. Бивалькевич А.А. Особенности хрупкого разрушения сварных соединений разнородных сталей / А.А. Бивалькевич, А.А. Батаев, В.Г. Буров, В.А. Батаев, С.В. Хлебников // Ползуновский вестник. – 2005. – № 2-2. – С. 44-46.

3. Никулина А.А. Структурные исследования сварных швов, полученных методом стыковой контактной сварки заготовок из разнородных сталей / А.А. Никулина, А.А. Батаев, А.И. Смирнов, В.Г. Буров // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. – 2010. – № 2 (47). – С. 24 – 28.

4. Денисова А.С. Структурные исследования сварных соединений разнородных сталей после термической обработки / А. С. Денисова, И. Н. Градусов, О. Э. Матц // Уральская школа молодых металловедов: сборник материалов и докладов XVI Международной научно-технической Уральской школы-семинара металловедов – молодых ученых (Екатеринбург, 7–11 декабря 2015 г.). В 2 ч. Ч. 1. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – С. 64-66.

УДК 669.1

К.А. Лозоватская, К.П. Еремина, А.Н. Жавнеров
Омский государственный технический университет, г.Омск, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРУ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОЙ СТАЛИ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ МАРГАНЦА 110Г13Л

Аннотация. в статье приведены результаты исследования химического состава трех различных плавок стали с высоким содержанием марганца 110Г13Л после термической обработки химический состав отвечает требованиям ГОСТ и требованиям специальных технических условий. Проведен микроанализ плавок после термической обработки, дано описание процесса изготовления и травления микрошлифов, представлены фотографии полученных структур, произведен анализ микроструктур, сделаны выводы о влиянии различного содержания углерода и марганца на количество образовавшихся карбидов, их форму и размеры.

Ключевые слова: высокомарганцовистая сталь, аустенит, карбид, термическая обработка, закалка, 110Г13Л.

Термически обработанная, закаленная, высокомарганцевая аустенитная сталь 110Г13Л обладает высоким сопротивлением абразивному износу в сочетании с высокой пластичностью и прочностью. К химическому составу стали 110Г13Л предъявляются различные требования, так согласно ГОСТ и специальным техническим условиям, предусматривается изменение содержания элементов в пределах 0,9-1,5% С и 11,5-15% Mn. Однако широкие пределы концентраций углерода и марганца не гарантируют стабильности структуры термообработаной стали, а следовательно, и постоянства свойств получаемого изделия [1].

С целью выявления изменения структуры термообработаной высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л проведены исследования химического состава трех образцов стали из разных плавок, закалка при температуре нагрева 1060-1080 °С, с последующим охлаждением в воду и микроанализ образцов.

Химический состав определялся путем стилоскопического анализа согласно ГОСТ 977-88 [2] с использованием эмиссионного спектрометра СПАС-02. Пробы для определения химического состава стали отливок отбирают в соответствии с ГОСТ 7565-81 [3]. Образцы маркированы согласно номеру плавки, результаты испытаний химического состава приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав,%

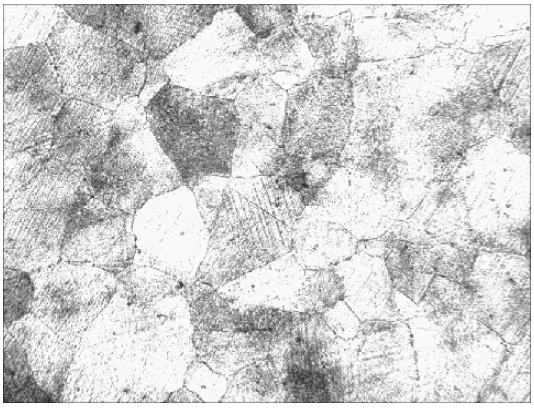
№ образца	C	Mn	Si	P	Cr	Ni
ГОСТ 977-88	0,9-1,5	11,5-15,00	0,30-1,00	0,120	не более 1	не более 1
1	0,95	11,50	0,40	0,030	0,55	0,12
2	1,20	11,60	0,45	0,070	0,47	0,15
3	1,43	12,70	0,47	0,085	0,74	0,12

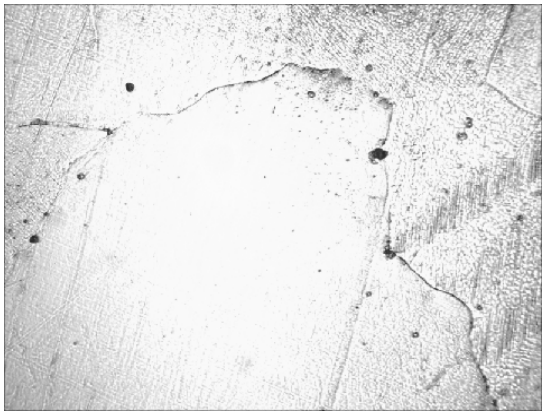
Исследование структуры образцов литой термообработанной стали с высоким содержанием марганца производилось с использованием инвертированного металлургического микроскопа Lim 305 при увеличении х100 и х500.

Подготовка образцов проводилась согласно ГОСТ 977-88 [2]. Образцы подготавливались путем шлифования на наждачной бумаге с номером зерна Р80 и 1000х100П7 ГОСТ 6456-75 [4] с использованием шлифовальной машины. Полирование проводилась на полиро-

вальной машине «NERIS» модель 3E881 с использованием пасты хром(3)окись/пигмент ГОСТ 2912-79 [5]. Травление проводилось с использованием в качестве травителя раствор азотной кислоты в спирте (спирт 50 мл и 4% азотной кислоты), время травления от 10-15 сек. Образцы размером 4х4 мм.

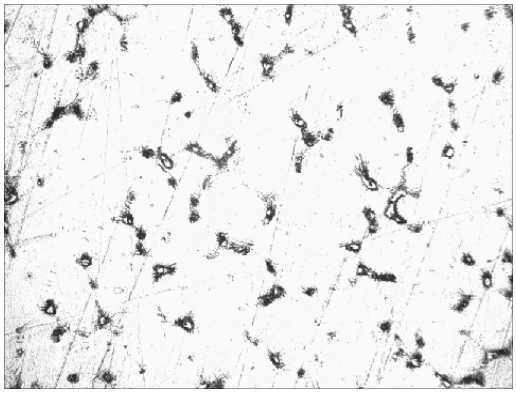
Фотографии микроструктур образцов литой термообработанной стали с высоким содержанием марганца полученные с помощью видеокамеры металлургического микроскопа Lim 305 и представлены на рис. 1-3.

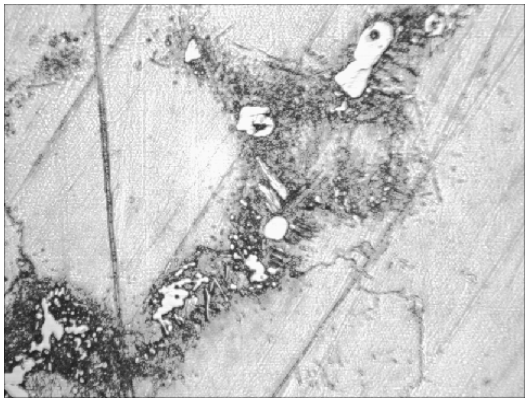




а) б)

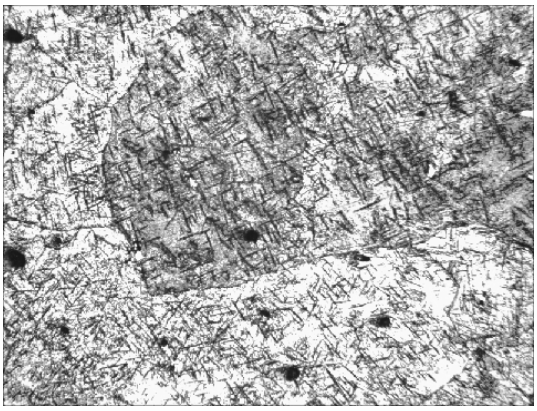
Рис.1 Микроструктура образца №1, а) х100 б) х500

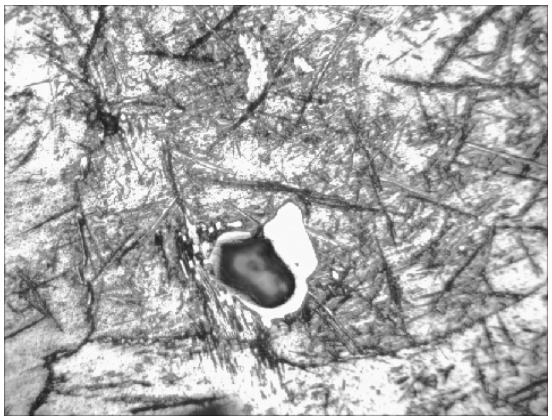




а) б)

Рис. 2 Микроструктура образца №2, а) х100 б) х500





а) б)

Рис. 3 Микроструктура образца №3, а) х100 б) х500

Микроструктура образца №1 имеет гомогенную аустенитную структуру. В соответствии с заводской технологической инструкцией — структура кондиционная, оценивается 2 баллом по величине зерна и «5а» баллом по избыточным карбидам.

Микроструктура образца №2 негомогенная, наряду с аустенитом наблюдается большое скопление крупных и мелких карбидов по границам и в теле аустенитного зерна — структура недопустимая.

Микроструктура образца №3 некондиционная гетерогенная структура, состоящая из аустенита и большого количества карбидов преимущественно игольчатой формы

Сравнение структур образцов позволяет выявить, что микроструктура образца №1 с содержанием углерода 0,95% имеет кондиционную структуру, меньший размер зерна и единичные карбиды по границам и в теле зерна. В образце №2 с содержанием углерода 1,2% структура негомогенная, наряду с аустенитом наблюдается большое скопление крупных и мелких карбидов по границам и в теле аустенитного зерна. И в образце №3 с содержанием углерода 1,43% гетерогенная структура, состоящая из аустенита и большого количества карбидов преимущественно игольчатой формы. Все образцы состоят из аустенита, но у образцов №2 и №3 наблюдается большое скопление крупных и мелких карбидов по границам и в теле зерна, а у образца №3 преимущественно преобладают карбиды игольчатой формы.

На основании полученных данных можно судить о том, что после термической обработки образец №1 имеет удовлетворительную структуру и минимальное количество карбидов небольшого размера, что позволит получить оптимальные сочетания твердости и ударной вязкости удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к деталям. Образцы №2 и №3 имеют неудовлетворительную структуру, из-за увеличения процента углерода в стали, наблюдается большое скопление крупных и мелких карбидов по границам и в теле зерна, у образца №3 также преимущественно преобладают карбиды игольчатой формы. Такая структура обладает высокой твердостью и низкой ударной вязкостью и может приводить к поломке деталей [6,7].

Библиографический список.

1. Власов В.И., Комолова Е.Ф. Литая высокомарганцовистая сталь. МАШГИЗ, 1963 — С 195.
2. ГОСТ 977-88 ОТЛИВКИ СТАЛЬНЫЕ. Общие технические условия [Текст] – Взамен ГОСТ 977-75, ГОСТ 2176-77, Введ. 01.01.1990. - Москва, ИПК Издательство стандартов, 2004, С. 36.
3. ГОСТ 7565-81 ЧУГУН, СТАЛЬ И СПЛАВЫ. Метод отбора проб для определения химического состава [Текст] – Взамен ГОСТ 7565-73, Введ. 01.01.1982. – Москва, Издательство стандартов 1987, С. 26.
4. ГОСТ 6456-75 ШКУРКА ШЛИФОВАЛЬНАЯ БУМАЖНАЯ. Технические условия [Текст] - Введ. 01.01.1983. - Разработан и внесен Министерством станкостроения и инструментальной промышленности СССР, С. 12.
5. ГОСТ 2912-79 ХРОМА ОКИСЬ ТЕХНИЧЕСКАЯ. Технические условия [Текст] - Введ. 01.01.1980. - Издательство стандартов 1989, С. 32.
6. Исследование дефектов структуры стали с высоким содержанием марганца 110Г13Л [Статья] Техника и технологии машиностроения: материалы IV Междунар. студ. науч. - практ. конф. (Омск, 20-30 марта 2015 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ – Омск: Издательство ОмГТУ, 2015. – С. 148-152 Лозоватская К.А., Степанова Е.П., Синявская С.А., Жавнеров А.Н.
7. Исследование дефектов структуры стали с высоким содержанием марганца 110Г13Л [Статья] Актуальные проблемы современной науки: материалы IV Регион. науч. - практ. конф. (Омск, 17 апр. 2015 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ – Омск: Издательство ОмГТУ, 2015. – С. 32-35 Лозоватская К.А., Ананьева Е.Ю., Рябова Е.И, Жавнеров А.Н.

УДК 629.7.023:536.14

Ю.В. Иордан
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ОЦЕНКА ТЕПЛОТЫ ОТ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ СЖИГАНИЕ «СУХИХ» ОТСЕКОВ РАКЕТЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА

Аннотация. Предложен вариант сжигания отделяющихся частей (ОЧ) ракет космического назначения, изготовленных из углепластика (УП), после выполнения ими своей миссии на участке траектории спуска с помощью пиротехнических смесей (ПС), обеспечивающих при сжигании дополнительный подогрев материала ОЧ. Выполнены расчеты по определению теплоты, выделяющейся при горении ПС, а также теплоты, необходимой для сжигания фрагмента УП. Проведен ряд экспериментальных исследований по реализации рассматриваемого способа.

Ключевые слова: сжигание, пиротехническая смесь, углепластик, количество теплоты, отделившаяся часть.

В процессе решения проблемы экологического загрязнения от воздействия ракетно-космической деятельности предлагается вариант полного или частичного уничтожения отработавших «сухих» отсеков ракет, за счет применения пиротехнических смесей, расположенных на наружной поверхности отделяющейся части или непосредственно в конструкции оболочки, которые воспламеняются в заданный момент времени и нагревают материал ОЧ до достижения температуры ее устойчивого горения [1]. По результатам предварительных расчетов процесс горения ограничивается временным интервалом в 20-30 с и должен быть полностью завершен на высоте 5 – 10 км.

К «сухим» отсекам относят приборный, межбаковый и хвостовой, а также головной обтекатель. Эти отсеки изготавливают из композиционных материалов (КМ), которые в настоящее время представляют собой главный класс материалов, удовлетворяющих всему комплексу требований, предъявляемых к конструкции летательного аппарата, а именно: минимальная масса, максимальная жесткость и прочность узлов, максимальный ресурс работы конструкций в условиях эксплуатации, высокая надежность.

Основной тип применяемых КМ – углепластики (УП), использующие в качестве наполнителя углеродные волокна, с различными углами укладки, нитяной, жгутовой, проволочной или ленточной структуры со связующим, в основном эпоксидной смолой, образующим матрицу в процессе изготовления композита. Они обладают рядом уникальных механических и физических свойств: высокой теплостойкостью, низким коэффициентом трения и термического расширения, высокой стойкостью к атмосферным воздействиям и химическим реагентам [2], что создает трудности при реализации предлагаемого способа сжигания ОЧ.

В рассматриваемой работе основной задачей является определение теплового эффекта, выделяющегося при сжигании различных ПС, и количества теплоты, необходимой для полного сгорания элемента ОЧ. Был проведен ряд экспериментальных исследований с применением различных ПС для сжигания фрагмента приборного отсека – углепластика на основе углеродного жгута HTS-5631 и эпоксидного связующего ЭНФБ толщиной $\delta = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

На первом этапе отбора из всех известных ПС были отброшены имеющие в своем составе легколетучие, радиоактивные, щелочные и редкоземельные компоненты. Также, в виду отсутствия систематизированных опубликованных справочных данных по теплофизическим свойствам углепластиков для подбора наиболее эффективных ПС, в электропечи лабораторной SNOL 6,7/1300 при атмосферном давлении со скоростью нагрева 20^0С/мин была определена температура воспламенения углепластика $T_{вс} \approx 1450$ К.

Таким образом, рассмотрены несколько различных рецептур ПС (Табл. 1), включающих смеси порошков активных металлов (Mg, Al) с оксидами менее активных металлов (PbO_2, Fe_2O_3, Co_2O_3, SiO_2), у которых равновесная температура реакции ≈ 3000 К.

В первом приближении принимаем, что все выделенное тепло от сгорания ПС воспринимается фрагментов УП без тепловых потерь в окружающую среду.

Определение теплового эффекта от сгорании ПС массой $m_{ПС}$ и количества теплоты, необходимой для начала процесса горения УП массой $m_{УП}$

Количество теплоты, выделяемое при сгорании ПС массой $m_{ПС}$ определяется из соотношения[3] :

$$Q_{ПС} = \frac{\Delta H^0 \cdot m_{ПС}}{M_{ПС}} \text{ Дж}, \quad (1)$$

где ΔH^0 – энтальпия образования химической реакции, Дж/моль; $M_{ПС}$ – молярная масса ПС, кг/моль.

Энтальпия (или тепловой эффект) химической реакции равна сумме энтальпий образования продуктов реакции за вычетом суммы энтальпий образования исходных веществ с учетом коэффициентов (первое следствие закона Гесса) [4]:

$$\Delta H^0 = \sum \Delta H^0{}_{прод} - \sum \Delta H^0{}_{исх.веществ} \quad (2)$$

Реакции, протекающие с выделением теплоты в окружающую среду, называются экзотермическими. Они характеризуются положительным тепловым эффектом (Q>0), и соответственно уменьшением энтальпии (теплосодержания системы) (ΔH<0).

Реакции, протекающие с поглощением теплоты из окружающей среды, т.е. с отрицательным тепловым эффектом (Q<0), и приводящие к росту энтальпии (ΔH>0), называются эндотермическими.

Энтальпия образования простых веществ принимается равной нулю.

Молярная масса смеси веществ определяется как сумма молярных масс входящих в смесь индивидуальных веществ.

Расчет теплового эффекта на примере ПС массой $m_{ПС} = 85 \cdot 10^{-6}$ кг и фрагмента УП массой $m_{УП} = 258 \cdot 10^{-6}$ кг

$$PbO_2 + 2Mg \rightarrow Pb + 2MgO$$

Молярная масса смеси

$$M_{ПС} = M_{PbO_2} + M_{Mg} = 0{,}239 + 2 \cdot 0{,}024 = 0{,}287 \text{ кг/моль},$$

где $M_{PbO_2} = M_{Pb} + M_{O_2} = 0{,}207 + 0{,}032 = 0{,}239$ кг/моль, $M_{Mg} = 0{,}024$ кг/моль.

Энтальпия образования химической реакции

$$\sum \Delta H^0{}_{прод} = \Delta H^0{}_{Pb} + 2 \cdot \Delta H^0{}_{MgO} = 0 - 2 \cdot 601{,}24 = -1202{,}48 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

$$\sum \Delta H^0{}_{исх.веществ} = \Delta H^0{}_{PbO_2} + 2 \cdot \Delta H^0{}_{Mg} = -276{,}76 + 0 = -276{,}76 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

$$\Delta H^0 = -1202{,}48 + 276{,}76 = -925{,}72 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

Таким образом стехиометрическая смесь $(PbO_2 + 2Mg)$ массой 0,287 кг выделит 925,72 кДж тепла.

Значит количество теплоты, выделяемое при сгорании ПС заданной массы:

$$Q_{ПС} = \frac{\Delta H^0 \cdot m_{ПС}}{M_{ПС}} = \frac{925{,}72 \cdot 10^3 \cdot 85 \cdot 10^{-6}}{0{,}287} = 274 \text{ Дж.}$$

Количество теплоты, необходимой для сжигания УП заданной массы, определяется из первого закона термодинамики с учетом отсутствия совершения работы над внешними силами

$$Q_{УП} = T_{вс} c \cdot m_{УП}, \qquad (3)$$

где $T_{вс}$ – температура воспламенения углепластика, К; $m_{УП}$ – масса УП, кг; c – удельная теплоемкость углепластика, Дж/(кг·К).

Удельная теплоемкость c зависит от процентного содержания углеродного волокна и связующего и возрастает от 600 до 1650 Дж/(кг·К). Принимаем c = 1000 Дж/(кг·К).

Тогда

$$Q_{УП} = 1450 \cdot 1000 \cdot 258 \cdot 10^{-6} = 374{,}1 \text{ Дж.}$$

Результаты расчета для остальных пиротехнических смесей и фрагментов УП представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета

№ п/п	Состав ПС	$m_{ПС}/m_{УП}$, млг	Молярная масса $M_{ПС}$, г/моль	Энтальпия ΔH^0, $\frac{кДж}{моль}$	Теплота $Q_{ПС}/Q_{УП}$, Дж
1	$PbO_2 + 2Mg$	85/258	287	-925,72	274/374,1
2	$Fe_2O_3 + 3Mg$	151/146	231,69	-981,52	640/211,7
3	$Fe_2O_3 + 3Mg$	80/105	231,69	-981,52	339/152,3
4	$Co_2O_3 + 2Al$	80/105	218	-1099	403/152,3
5	$SiO_2 + 4Al$	100/105	288	-744	269/152,3
6	$SiO_2 + 2Mg$	100/105	228	-343,18	151/152,3

Экспериментальная часть. Согласно представленным в таблице 1 составам, некоторое количество ПС (в насыпном, спрессованном или пастообразном виде) размещалось на испытуемом фрагменте УП. Для начала процесса реакции к ПС через нихромовую проволоку подводилось напряжение ≈ 5 В с помощью лабораторного автотрансформатора; в ряде случаев исследуемые образцы помещались в электропечь.

Все эксперименты проводились при нормальном атмосферном давлении и диффузионном притоке кислорода на фрагмент углепластика без учета требования массового соотношения «УП – ПС».

В экспериментах с применением нихромовой спирали во всех испытуемых фрагментах на поверхности, непосредственно контактирующей с пиротехническим составом, выгорело связующее ЭНФБ, при этом углеродный жгут не пострадал.

ПС под №2 проходил испытания в электропечи лабораторной, обеспечивающей равномерный подвод тепла к УП и составу. В интервале температур t = 600^0 – 900^0С, в следствии равномерного и медленного прогрева, произошло сжигание УП.

Выводы

По результатам численного расчета видно, что в случае отсутствия теплообмена с окружающей средой, количество теплоты от ПС достаточно для сжигания УП. Однако, как

показали эксперименты, в реальных условиях присутствуют большие тепловые затраты из-за низкой теплопроводности и высокой температуры горения углепластика. Для того, чтобы прогреть углепластик до температуры воспламенения требуются малогазовые ПС с более низкой скоростью протекания реакции и большим тепловыделением.

Дальнейшая работа будет направлена на подбор энергетически выгодных ПС, поиск конструктивных путей реализации предлагаемого способа, проведение теоретических расчетов и экспериментальных исследований.

Научный руководитель д.т.н., проф. Трушляков В.И.

Исследования поддержаны грантом Минобрнауки России по Соглашению № 14.577.21.0157 от 28.11.2014 г., универсальный идентификатор RFMEFI57714X0157.

Библиографический список

1. Trushlyakov V.I., Lempert D.B., Zarko V.E. The use of thermite-incendiary compositions for burning of fairing of space launch vehicle // 18th International Seminar «New Trends in Research of Energetic Materials». 2015. v.2. pp. 901-904 Pardubice, Czech Republic. April 15-17. 2015.

2. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 516 с.

3. Расчет теплотворной способности топлива: методические указания к расчетной работе по химической термодинамике / А.А. Литманович, Е.В. Новоселова, Г.Ю. Остаева, И.М. Писов, Е.В. Полякова. – М.: МАДИ, 2014. – 20 с.

4. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур: Пер. с англ. Ю.А. Данилова и В.В. Белого – М.: Мир, 2002. – 461 с.

УДК 621.791.92:621.791.793:539.3:629.3.027.74

И.И. Кагарманов, Б.Е. Лопаев
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОСТОЯННОЙ ШЛАКОВОЙ ВАННОЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ГРЕБНЕЙ БАШМАКОВ ТРАКТОРА

Аннотация. Предложен непрерывный технологический процесс электрошлаковой наплавки гребней башмаков трактора на установке, представляющей собой конвейер, который перемещает через неподвижный наплавочный кристаллизатор башмаки, установленные друг за другом встык. В кристаллизаторе имеется паз, соответствующий сечению гребня башмака. Проходя через этот паз, изношенная часть гребня заполняется металлом, находящимся в кристаллизаторе. Выходя из кристаллизатора, гребень приобретает первоначальные размеры. Скорость перемещения башмака изменяется в зависимости от величины износа. Приводятся режимы наплавки и производительность установки. Предложенная технология позволяет осуществлять электрошлаковую наплавку гребней башмаков трактора поточным методом.

Ключевые слова: наплавка, гребень башмака, кристаллизатор, электрод, флюс, металлическая и шлаковая ванны, конвейер.

При работе на участках грунтозацепа, износ гребней башмаков трактора, имеющих форму клина, составляет более 0,020 м. Поскольку другие поверхности башмаков изнаши-

ваются мало, то встает вопрос о восстановлении изношенных участков и повторном использовании башмаков.

Имеются различные способы восстановления до нужного размера этих участков:

– приварка к вершине изношенного гребня башмака прутка из стали 45 диаметром 0,015 м.

Башмаки, восстановленные таким образом, обладают малой прочностью на изгиб наращенной части выступа, поэтому они не пригодны для работы на твердом грунте.

– приварка кованого прутка, имеющего в сечении форму клина, к изношенному гребню башмака.

Эти поковки имеют высокую стоимость, в связи с чем использование их экономически нецелесообразно.

– наплавка многослойной дуговой сваркой на изношенную часть металла массой до 0,8 кг.

Из-за применения формирующих устройств этот способ является трудоемким.

Методом, устраняющим вышеуказанные недостатки, является электрошлаковая наплавка [1].

За основу предлагаемой технологии восстановления до нужного размера гребней башмаков трактора взят «метод непрерывной горизонтальной электрошлаковой наплавки плоских поверхностей с постоянной шлаковой ванной» [2].

Схема электрошлаковой наплавки по предлагаемой в работе технологии представлена на рис. 1. Изношенный гребень башмака 1 проходит через металлическую ванну 4 в кристаллизаторе 2. Выходя из кристаллизатора, гребень башмака приобретает первоначальные размеры.

Установка для электрошлаковой наплавки представляет собой раму с уклоном 24º, на которой расположен конвейер, создающий движение башмака трактора в нижнем положении с заданной скоростью.

Конвейер представляет собой цепную передачу, состоящую из двух звездочек и роликовой цепи. На ней имеются упоры-толкатели, благодаря которым при движении цепи происходит перемещение башмаков по горизонтальным упорным роликам 6. Вертикальное положение башмака при движении обеспечивается горизонтальными упорными роликами 5.

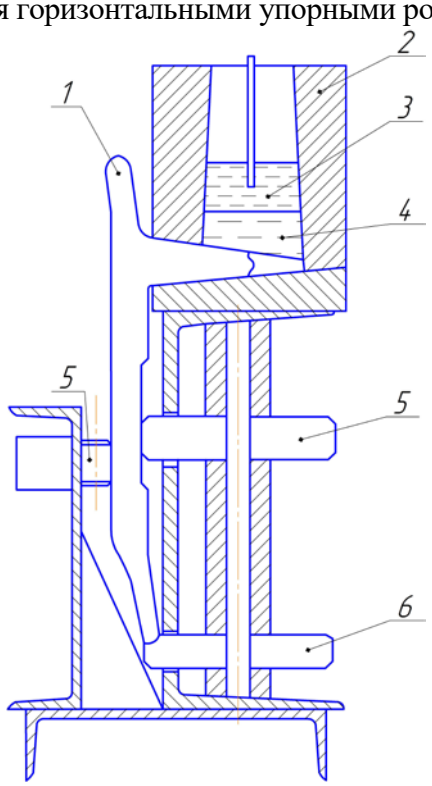


Рис. 1 Схема электрошлаковой наплавки: 1 – башмак; 2 – кристаллизатор; 3 – шлаковая ванна; 4 – металлическая ванна; 5 – ролики опорные; 6 – ролик опорный

Скорость движения башмака автоматически регулируется, так как поступление расплавленного металла электрода при установившемся режиме постоянно, а выход его из кристаллизатора зависит от величины износа гребня башмака. Баланс прихода и расхода металла обеспечивает система слежения за расходом металлической ванны 4.

Кристаллизатор 2 (рис. 1) предназначен для поддержания постоянного уровня шлаковой ванны 3, принудительного формирования наплавленного металла, отвода тепла от наплавляемого изделия.

Корпус кристаллизатора представляет собой цельнолитую конструкцию из меди марки М3. В центре корпуса профрезерован вертикальный колодец с уклоном стенок 6%. Ширина колодца 0,042 м, глубина – 0,074 м. В колодце располагаются плавящийся и неплавящийся электроды, наводятся металлическая и шлаковая ванны. Глубина металлической ванны составляет 0,014 м, шлаковой – 0,050 м.

Длина контактной поверхности кристаллизатора с башмаком, а следовательно, и каналом, формирующего наплавленный гребень, должна быть достаточной, чтобы при выходе из канала наплавленный металл был полностью закристаллизовавшимся.На двух противоположных боковых поверхностях кристаллизатора профрезерованы каналы диаметром 0,007 м, сообщающиеся между собой так, что при закрывании их боковыми крышками образуется змеевик для охлаждения кристаллизатора проточной водой.

При установке корпуса кристаллизатора на основании образуется паз с размерами и формой зацепа гребня башмака, в который наплавляется металл. Паз выполнен так, что его продольная ось имеет уклон 24%. Это сделано с той целью, чтобы расплавленный металл не вытекал в зазоры между поверхностями зацепа и паза кристаллизатора. Этому будет препятствовать то, что уровень жидкого металла окажется ниже зазора. Шлак или расплавленный металл, который устремиться в зазор, закристаллизуется, не выходя из паза, а потом оттеснится обратно в колодец передвигающимся башмаком.

Для сохранения глубины металлической ванны по всей ширине шахты кристаллизатора необходим ввод дополнительного тепла, которое бы компенсировало отвод тепла в стенки кристаллизатора. Это осуществляется за счет подогрева металлической ванны вольфрамовым электродом диаметром 0,008 м, используемым для наведения шлаковой ванны. На кристаллизаторе укрепляется токоподвод, обеспечивающий легкое перемещение электрода для замыкания на гребне башмака и на высоту 0,016 м от поверхности поддона.

К вольфрамовому электроду подключена система слежения за расходом металлической ванны. Она обеспечивает возрастание скорости конвейера при увеличении глубины металлической ванны и уменьшение скорости при уменьшении глубины металлической ванны.

Работа на установке при электрошлаковой наплавке заключается в расположении на конвейере башмаков, наведении шлаковой ванны, наплавке, снятии башмаков с конвейера, резке по стыку наплавленного блока башмаков.

Расположение башмаков для наплавки заключается в опускании башмака в определенном положении в транспортное устройство установки. Для работы на установке следует на конвейерной ее части разместить три башмака до кристаллизатора, один башмак в кристаллизаторе и один башмак за выходом из кристаллизатора.

Для наведения шлаковой ванны в начале процесса применяется вольфрамовый электрод диаметром 0,008 м и флюс – АН-22. Сила тока при этом равна 300…400 А, глубина шлаковой ванны 0,040…0,045 м.

После наведения шлаковой ванны осуществляется подача электродной проволоки марки Нп-50 Г диаметром 0,003 м. Режимы электрошлаковой наплавки проволокой диаметром 0,003 м: $I_{св}$ = 500…600 А, U = 38…40 В, $V_{под}$ = 0,067 м/с. Скорость движения башмаков в конвейере для проволоки диаметром 0,003 м равна 0,0018…0,0036 м/с в зависимости от величины износа гребня башмака.

Для поддержания постоянной глубины шлаковой ванны периодически в кристаллизатор необходимо добавлять флюс.

После наплавки башмаки в виде блока снимают с конвейера, а затем производят газопламенную резку по стыку.

Установку обслуживают два человека: оператор и подсобный рабочий. Оператор осуществляет электрошлаковую наплавку, подсобный рабочий – установку башмаков на конвейер и их снятие.

Количество наплавленных башмаков в час при использовании проволоки диаметром 0,003 м составляет 20.

Технология, представленная в данной работе, позволяет осуществлять непрерывный технологический процесс электрошлаковой наплавки гребней башмаков трактора.

Библиографический список

1. Технология электрошлаковой сварки металлов и сплавов плавлением [Текст]. Под ред. акад. Б.Е.Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.

2. Шварцер А.Я. Электрошлаковая наплавка и отливка с постоянной шлаковой ванной [Текст] / А.Я. Шварцер, В.П. Стойко, Л.В. Самойленко. Автом. сварка. 1970. – №6. – С. 60–63.

УДК 621.762:539.2

Г.Г. Крушенко
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия
Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация. В работе описаны технологии применения нанопорошков высокопрочных тугоплавких химических соединений (нитриды, карбонитриды, карбиды,оксиды и др.) с целью повышения физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик литых изделий из алюминиевых сплавов. Основной результат применения нанопорошков – измельчение структуры литых деталей, следствием чего является повышение их физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: качество литых изделий, алюминиевые сплавы, нанопорошки

В последние годы большое внимание уделяется новому классу материалов – ультрадисперсным порошкам (иное название – нанопорошки – НП) химических соединений, которые представляют собой сверхмелкозернистые образования с размерами, не превышающими 100 нм (1 нм = 10^{-9} м). Такое отношение к этим материалам объясняется тем, что они обладают уникальными физико-химическими свойствами, существенно отличающимися от свойств материалов того же состава, но в массивном состоянии, и эти свойства могут в определенной степени передаваться получаемым из них или с их участием изделиям. [1]. Причина уникальности свойств НП заключается в том, что количество атомов в их поверхностном слое и в объеме оказывается соизмеримым. Ввиду того, что атомы на поверхности наночастиц имеют соседей только с одной стороны, их равновесие нарушается и происходит структурная релаксация, которая приводит к смещению межатомного расстояния в слое толщиной в 2…3 нм. Поэтому поверхностные слои частиц оказываются растянутыми, а внутренние – сжатыми, так как избыточное лапласовское давление на них ($p = 2\gamma/r$) достигает сотен килобар [2].

По данным [3] исторический приоритет в изготовлении и использовании ультрадисперсных (нано-) систем принадлежит России. Именно в России (СССР) еще в 1950-е годы на предприятиях атомной промышленности впервые в мире были получены ультрадисперсные порошки металлов с размером частиц около 100 нм, которые были успешно применены при изготовлении мембран для установок диффузионного разделения изотопов урана.

Обладающие такими уникальными свойствами НП при их применении в технике могут обеспечить получение новых материалов с заданными характеристиками. Действительно, если совсем недавно публиковались данные только о способах и оборудовании для получения НП, а также результаты изучения их свойств, то к настоящему времени все чаще появляются публикации по их использованию для создания продукции как на металлической, так и на эластомерной основе [4, 5].

В течение длительного времени Отдел машиноведения Института вычислительного моделирования СО РАН (г. Красноярск) совместно с целым рядом промышленных предприятий страны проводит работы по применению нанопорошков (НП) высокопрочных тугоплавких химических соединений для повышения качества металлоизделий, входящих в структуру различных механихмов и машин. В исследовании были использованы НП Al2O3; B4C; BN; Cr3C1,6N0,4; HfN; HfB2; LaB6; SiC; Si3N4; TaN; TixCyNz; TixCyNzOi; TiN; TiO2; VC; VxCyNz, а также смеси ряда НП. Эти химические соединения относятся к промежуточным, характерной особенностью которых является высокая степень устойчивости, неметаллический характер и высокая температура плавления (в области 2273…3273 К).

По результатам разработанных технологий по применению НП для повышения качества металлоизделий, изготовляемых разными способами из различных металлов и сплавов, получено 25 авторских свидетельства СССР и патентов РФ на изобретения. Большая часть работ была проведена с целью измельчения структуры и, как результат, повышения уровня механических свойств изделий из алюминиевых литейных и деформируемых сплавов, а также повышение прочности сварного шва при сварке объемной конструкции транспортного средства из листов сплава АМг6 сварочными электродами, содержащими в объеме НП. Основной эффект от применения НП заключается в измельчении структуры сплавов, результатом чего является повышение физико-механических характеристик металлоизделий. Процесс измельчения структурных составляющих сплавов на макро- и микроуровне называют модифицированием.

Опыт показал, что существующие способы введения в металлические расплавы порошкообразных добавок, размеры частиц которых находятся в микрометровом диапазоне, не могут быть приняты при использовании НП вследствие их особых свойств по сравнению с более крупными порошками. Так, частицы НП легко «слипаются», их окисление начинается при сравнительно низких температурах, и что особенно важно для выполнения роли центров кристаллизации – они плохо смачиваются жидким металлом. Несмотря на высокую плотность НП легко образуют в воздухе пылевидную взвесь, при определенных условиях самовозгорающуюся и даже взрывоопасную. Все это делает практически невозможным прямое введение НП в расплавы. По этой причине был разработан принципиально новый способ введения НП в жидкий металл [6, 7], который предотвращает прямой контакт частиц нанопорошка с атмосферой, и при этом обеспечивает их «штучное» дозированное введение в жидкий металл по массе. Суть разработанного способа заключается в прессовании в пруток композиции, состоящей из частиц алюминия и НП.

Применение НП для модифицирования выявило существенное их преимущество перед обычными видами модифицирования. Так, если при общепринятом способе модифицирования с помощью лигатур требуется вводить 0,15…0,20 масс. % инокулирующего компонента (Ti, Zr, B и др.), то для получения аналогичного и даже более высокого эффекта требуется не более 0,05 масс. % НП.

Наномодифицирование сплавов системы Al-Si. Применение НП для модифицирования изученных промышленных сплавов при литье в кокиль показало, что все их виды приводят к росту механических свойств. Так, в результате введения в сплав АК12 после модифицирова-

ния тройным модификатором: а) НП карбида ванадия VC повышает $\sigma_в$ по сравнению с модифицированием стандартным тройным модификатором (50 % NaCl, 30 % NaF, 10 % Na_3AlF_6) до 228 МПа (на3,2 %), δ – до 12,9 % (в 4,4 раза); б) смеси НП 25 % BN + 75 % B_4C повышает $\sigma_в$ до 231 МПа (на 4,5 %), δ – до 13,5 % (в 4, 7 раза). Модифицирование сплава АК9ч НП карбонитрида титана TiCN дает $\sigma_в$ = 246 МПа, δ = 11,0 %, а НП карбида бора B_4C – $\sigma_в$ = 235 МПа, δ = 12,8 % (по ГОСТ требуется $\sigma_в \geq 235$ МПа, $\delta \geq 3{,}0$ %). На сплаве АК7ч введение после тройного модификатора: а) НП карбида ванадия VC дает $\sigma_в$ = 234 МПа, δ = 14,5 %; б) НП карбида бора B_4C соответственно 194 МПа и 9,8 %; в) смеси 25 % НП VC и 75 % B_4C – 280 МПа и 13,8 % (по ГОСТ: $\sigma_в \geq 210$ МПа, $\delta \geq 2{,}0$ %). На сплаве АК9Ц6р при модифицировании тройным модификатором $\sigma_в$ = 227 МПа, δ = 2,9 %, а дополнительное введение НП TiCN повышает эти характеристики соответственно до 284 МПа (на 2,5 %) и до 4,1 % (в 1,4 раза) при требуемых ГОСТ $\sigma_в \geq 210$ МПа и $\delta \geq 1{,}0$%. При работе со сплавом АК7 при модифицировании тройным модификатором $\sigma_в$ = 205 МПа, δ = 3,6 %, а в результате дополнительного введения НП VCN $\sigma_в$ возрастает до 217 МПа (на 5,6 %), а δ – до 6,8 % (в 1,9 раза) или в) НП сфенциркона (смесь окислов $Zr0_2$, Nb_20_5, TiO_2) соответственно до 246 МПа (на 19,3 %) и до 5,8 % (в 1,6 раза). В другой серии исследований, когда модифицирование сплава АК7 производили известным модификатором – фторцирконатом калия K_2ZrF_6, $\sigma_в$ составило 246 МПа, δ – 17,1 %, а дополнительное введение: а) лигатуры Al-Ti и НП TiCN повышает эти характеристики соответственно до 256 МПа (на 4,1 %) и до 25,3 % (в 1,5 раза) или б) НП B_4C – соответственно до 264 МПа (на 7,3 %) и до 22,5 % (в 1,3 раза). По ГОСТ требуется $\sigma_в \geq 160$ МПа и $\delta \geq 0{,}5$ %.

Оптимизация дозирования НП. Применение НП для модифицирования выявило существенное их преимущество перед обычными видами модифицирования. Так, если при общепринятом способе модифицирования с помощью лигатур требуется вводить 0,15…0,20 масс. % инокулирующего компонента (Ti, Zr, B и др.), то для получения аналогичного и даже более высокого эффекта требуется не более 0,05 масс. % НП. При этом с применением метода математического планирования эксперимента [15] была проведена работа по установлению оптимального количества НП (на примере НП карбонитрида титана TiCN), необходимого для получения максимальных механических свойств отливок из сплава АК7ч при литье в сырую песчаную форму, что уже само по себе отрицательно влияет на механические свойства. Отлитые детали термообрабатывали по режиму Т4. В результате крутого восхождения по поверхности отклика были получены максимальные механические свойства ($\sigma_в$ = 226 МПа и δ = 5,9 %) при расходе всего 0,004 масс. % НП TiCN, что превышает эти характеристики ($\sigma_в$ = 182,5 МПа и δ = 5,2 %) для сплава, модифицированного стандартным тройным модификатором (50 % NaCl, 30 % NaF, 10 % Na_3AlF_6) соответственно на 23,8 % и на 13 %. А при 0,003 % TiCN: $\sigma_в$ =221 МПа, δ = 5,5 %; при 0,005 % TiCN: $\sigma_в$ =211 МПа, δ = 5,4 %.

Наномодифицирование сплава АК12 при литье «корпус агрегата». При литье детали «корпус агрегата», представляющей собой сложную фасонную отливку с чистовой массой 5,8 кг сплав АК12 готовили по одному из вариантов по серийной технологии с модифицированием сплава тройным модификатором, по другому – сплав модифицировали 0,8-0,9 %. тройного модификатора (меньше стандартного количества в 1,6-1,9 раза), затем в него дополнительно вводили 0,05-0,08 % НП карбида бора B_4C. Анализ результатов испытаний механических свойств вырезанных из отливок образцов показал, что в результате дополнительного введения НП B_4C $\sigma_в$ повышается по сравнению с обычной технологией с 221 до 231 МПа (на 4,3 %), твердость, НВ – в 1,8 раза (с 61,7 до 62,8 МПа) и δ – с 2,9 до 10,5 % (в 3,6 раза). Микроструктура в обоих случаях, хотя и являлась типичной для хорошо модифицированного силумина, в котором эвтектика представляет собой конгломерат тонко измельченных фаз, однако если при обработке расплава только тройным модификатором средняя длина ветвей первого порядка дендритов α-твердого раствора составляет около 90 мкм, то при комплексном, двойном модифицировании они уменьшились до около 35 мкм (меньше в 2,57

раза), а количество дендритов на одной и той же площади шлифа оказалось в 1,7 раза больше, чем при модифицировании тройным модификатором – соответственно 1084 и 638. Было установлено также и существенное отличие в характере макроструктуры. Так, если при модифицировании тройным модификатором структура характеризуется столбчатым строением, то в результате дополнительного введения в расплав НП B_4C формируется однородная измельченная структура. Очевидно, повышение механических свойств сплава при модифицировании НП B_4C и следует связать с измельчением его микро- и макроструктуры. Высокие свойства – $\sigma_в$ = 204 МПа, δ = 5,2 %, НВ = 59,5 были получены также при модифицировании только B_4C. Гидроиспытания механически обработанных деталей на герметичность показали, что при их литье из модифицированного НП сплава, снижается склонность к трещинообразованию, что выражается в повышении давления, при котором на деталях появляется течь или возникают трещины.

Наномодифицирование сплава типа АЛ4М при литье детали «обтекатель». Объектом исследования послужила деталь транспортного средства типа «обтекатель» со сложной конфигурацией внутренней стенки, к механическим свойствам и антикоррозионным характеристикам которой предъявляются повышенные требования в связи с тем, что эти детали работают в экстремальных высоконагруженных условиях в агрессивной среде.

Деталь получали литьем в кокиль из алюминиево-кремниевого сплава типа АЛ4М, близкого по составу к сплаву АК9ч, легированного медью и магнием с добавкой комплекса модифицирующих и упрочняющих компонентов в пределах 0,01…0,50 масс. %. Наружная поверхность отливки оформлялась в металлической форме, внутренняя поверхность, имеющая сложную геометрию, оформлялась с помощью песчаного стержня, внутри которого располагалась литниково-питающая система. Черновая масса отливки составляет 25 кг, чистовая – 14,5 кг.

Требуемые механические свойства сплава в отливках в термообработанном состоянии должны составлять: временное сопротивление разрушению $\sigma_в \geq 350$ МПа, предел текучести а $\sigma_{0,2} \geq 240$ МПа (обычно эта характеристика для литейных алюминиево-кремниевых сплавов не оговаривается), относительное удлинение $\delta \geq 5{,}0\%$, твердость по Бринеллю НВ в пределах 110…117.

Однако при работе по стандартной заводской технологии механические свойства не всех отливок соответствовали этим требованиям. Поэтому, исходя из предыдущего опыта успешного применения НП тугоплавких химических соединений было решено использовать НП нитрида титана TiN, применение которого в ранее проведенных исследованиях показало высокую эффективность. При этом при приготовлении сплава вместо лигатуры Al-10%Ti в расплав в объеме прутка ∅ 9,5 мм, отпрессованного из композиции частицы алюминия + частицы НП TiN, вводили это соединение.

В результате описанного изменения технологии приготовления сплава были получены детали с механическими свойства, которые превышали требуемые и составляли в среднем: $\sigma_в$ – 360 МПа; $\sigma_{0,2}$ – 255,5 МПа; δ – 6,0%; НВ – 116,0 МПа. При этом, несмотря на то, что время разливки сплава после окончания металлургической обработки сплава было существенно дольше регламентного, механические свойства всех трех отливок практически не отличались.

Библиографический список

1. Морохов И.Д., Трусов Л.И., Чижик С.П. Ультрадисперсные металлические среды. М.: Атомиздат, 1977. 264 с.

2. Гусев А.И. Эффекты нанокристаллического состояния в компактных металлах и их соединениях // УФН.1998. Т. 168. № 1. С. 55–83.

3. Арсентьева И., Ушаков Б., Захаров Н. и др. Ультрадисперсные порошки металлов // Национальная металлургия, 2002. № 4. С. 66–71.

4. Упрочнение металлических, полимерных и эластомерных материалов ультрадисперсными порошками плазмохимического синтеза / М.Ф. Жуков, И.Н. Черский, А.Н. Черепанов… Г.Г. Крушенко и др. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. 312 с.

5. Нанопопрошковые технологии в машиностроении / В.В. Москвичев, Г.Г. Крушенко, А.Е. Буров, И.В. и др. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. 186 с.

6. А.с. СССР № 831840 А1 МПК^5 С22С 1/06 Способ модифицирования литейных алюминиевых сплавов эвтектического типа. Заявка № 2831160 от 17.10.1979 / Г.Г. Крушенко, Ю.М. Мусохранов, И.С. Ямских, А.А. Корнилов, С.Г. Крушенко. Бюл., 1981. № 19.

7. А.с. СССР № 839680 А1 МПК^5 В22D 27/00 Способ модифицирования сплавов/ Заявка № 2811874 от 03.09.1979 / Г.Г. Крушенко, М.Ф. Жуков, А.А. Корнилов, А.А. Иванов. Бюл., 1981. № 23.

УДК 621.9.015

К.К. Мажитов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ ИЗ МОЛИБДЕНА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Аннотация. Состояние поверхностного слоя является одним из важнейших параметров, влияющих на физико-химические и, как следствие, на эксплуатационные свойства изделий. Интерферометрическим методом с использованием лазерного микроскопа МИМ–340 проведено исследование шероховатости поверхности покрытий толщиной 300 нм, сформированных магнетронным распылением молибдена. Полученные значения *Ra*=13.1 нм и *Rz*=27.5 нм на базовой длине 80 мкм позволяют отнести исследуемые покрытия к 13 классу шероховатости, что свидетельствует о возможности применения метода магнетронного распыления к формированию покрытий с низкой степенью шероховатости поверхности.

Ключевые слов: шероховатость поверхности, класс шероховатости, магнетронное распыление, покрытие, молибден.

Введение. Применение покрытий из тугоплавких металлов, полученных методом магнетронного распыления [1], в различных областях промышленности обусловлено их физико-химическими и эксплуатационными свойствами. В микро– и наноэлектронике посредством магнетронного распыления вольфрама и тантала реализуются технологии металлизации полупроводников в микросхемах для снижения размерного эффекта роста удельного сопротивления [2] и повышения электропроводности наноструктурированных слоев [3]; молибден используется для изготовления тонкопленочных СВЧ-резонаторов с брэгговским отражателем [4], а также при производстве фотоэлементов в солнечной энергетике (фотовольтаике) [5]. Перспективной областью применения тонких металлических пленок с отражающей поверхностью является их использование для создания твердотельных квантовых компьютеров [6]. Покрытия из тугоплавких металлов востребованы в энергосберегающих технологиях при изготовлении электродов термоэлектрических преобразователей, а также высокоэффективных катализаторов [7].

Состояние поверхностного слоя оказывает влияние на эксплуатационные свойства деталей машин: износостойкость, виброустойчивость, контактную жесткость, прочность соединений и т.д [8]. Одним из параметров, определяющих качество поверхностного слоя, является шероховатость поверхности. К апробированным методам измерения шероховатости

относятся профилометрия, бесконтактный метод сравнения, метод светового сечения, эллипсометрия, растровая электронная, атомно-силовая и лазерная микроскопия [9]. Интерферометрический метод (метод лазерной микроскопии) обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами – возможностью цифровой обработки результатов измерений, экспрессностью получения изображения и обработки результатов измерений, возможностью комплексного трехмерного описания топографии, включающего нестатические характеристики, кроме того данный метод является бесконтактным и неразрущающим. Вышеперечисленные особенности метода лазерной микроскопии способствуют его широкому распространению и применению к исследованиям различных параметров поверхностей, в том числе шероховатости изделий точного машиностроения и приборостроения [10], микро– и наноструктурированных поверхностей [11], материалов специального назначения авиационно-космической отрасли [12], лазерной техники [13].

Шероховатость поверхности является одним из важнейших параметров, влияющих на физико-химические (удельное сопротивление, электропроводность, механические напряжения, площадь контактной поверхности) и, как следствие, на эксплуатационные свойства изделий (износо– и термостойкость, прочность, герметичность соединений, химическая стойкость). Таким образом, применение метода лазерной микроскопии к определению различных характеристик поверхности, в том числе ее шероховатости, является актуальным направлением исследований в области современных нанотехнологий.

Расчет шероховатости поверхности. Шероховатость поверхности – это совокупность ее неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине. На рисунке 1 схематично показаны параметры шероховатости.

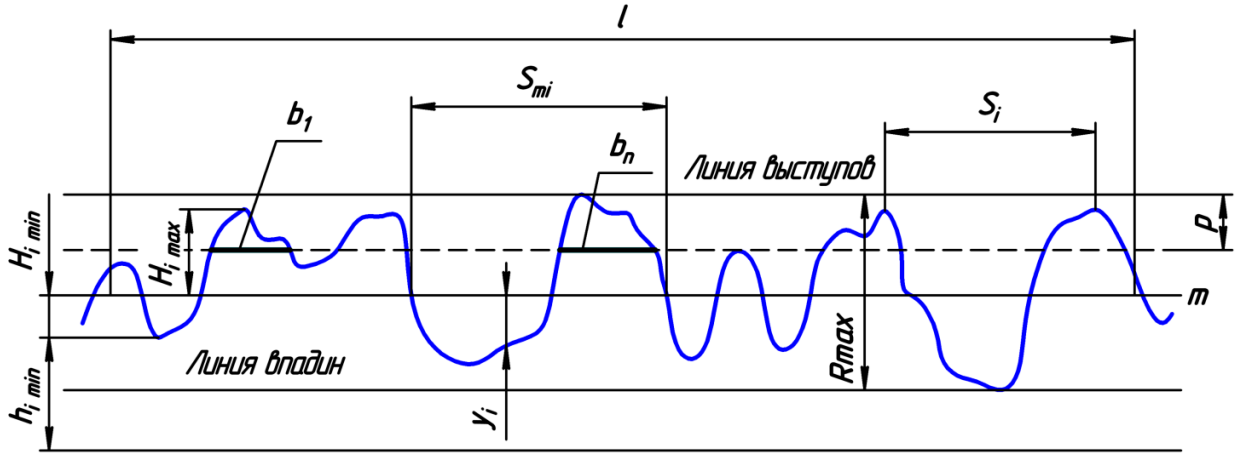


Рис. 1 Параметры шероховатости (схема)

где l – базовая длина; m – средняя линия профиля; S_{mi} – средний шаг неровностей профиля; S_i – средний шаг местных выступов профиля; $H_{i\ max}$ – отклонение пяти наибольших максимумов профиля; $H_{i\ min}$ – отклонение пяти наибольших минимумов профиля; $h_{i\ max}$ – расстояние от высших точек пяти наибольших максимумов до линии, параллельной средней и не пересекающей профиль; $h_{i\ min}$ – расстояние от низших точек пяти наибольших минимумов до линии, параллельной средней и не пересекающей профиль; R_{max} – наибольшая высота профиля; y_i – отклонения профиля от линии m; p – уровень сечения профиля; b_n – длина отрезков, отсекаемых на уровне p.

Расчет шероховатости поверхности проводится с использованием формул (1) и (2) в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i \qquad (1)$$

где *Ra* – среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля.

$$R_z = 1/5 \times \left(\sum_{i=1}^{5} \left| H_{i\ max} \right| + \sum_{i=1}^{5} \left| H_{i\ min} \right| \right) \qquad (2)$$

где *Rz* – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших его впадин, при этом параметр *Ra* является предпочтительным.

На сегодняшний день стандартом (ГОСТ 2789–73) установлено 14 классов шероховатости поверхностей. Чем выше класс шероховатости, тем меньше высота неровностей и чище поверхность. Помимо параметров *Ra* и *Rz* для характеристики морфологии тонкопленочных покрытий применяется средняя квадратичная шероховатость – функция спектральной плотности сил латерального взаимодействия при измерении шероховатости методом атомно-силовой микроскопии [14], рассчитываемая по формуле (3):

$$R_a = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (h_i - \langle h \rangle)^2} \qquad (3)$$

Исследование шероховатости покрытий из молибдена методом ЛИМ. В ходе работы проведено исследование шероховатости покрытий, полученных магнетронным распылением молибдена на установке ADVAVAC VSM–200 [15] с предварительной ионной очисткой поверхности. Покрытия из молибдена толщиной 300 нм были сформированы при температуре 200 °С в атмосфере аргона (Р=3.4 мкБар) на подложке из конструкционной стали Ст 25. Перед формированием покрытия подложка обрабатывалась на шлифовальном круге в условиях последовательного уменьшения зернистости абразивной бумаги, а затем подвергалась полировке до зеркального блеска. Шероховатость поверхности образца после финишной полировки составила *Ra*=78 нм и *Rz*=207 нм, что соответствует 11 классу шероховатости на базовой длине 250 мкм. Исследование шероховатости полученного покрытия по его интерферограмме (рис. 2) проводилось методом лазерной интерференционной микроскопии (ЛИМ) на микроскопе МИМ–340. В основе устройства его оптической системы – метод модуляционной интерференционной микроскопии, в котором измеряются локальные фазы световой волны, отраженные от объекта при полном контроле поляризации излучения. Обработка интерферограмм проводилась с помощью программы MIM Visualizer: восстанавливался фазовый портрет исследуемой поверхности (рис. 3) и автоматически рассчитывались значения шероховатости по полученным профилям (рис. 4).

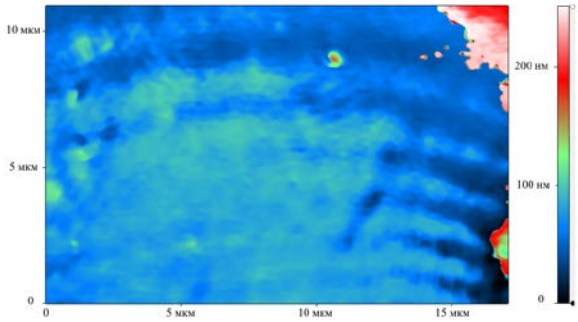


Рис.2 Интерферограмма поверхности покрытия

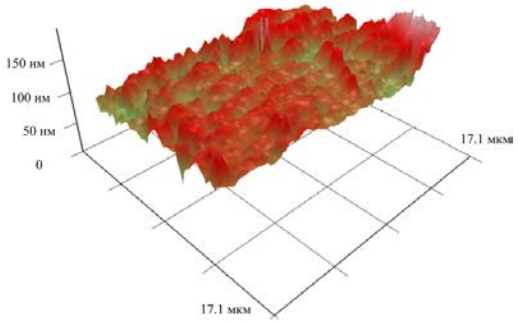


Рис. 3 Топография поверхности покрытия (фазовое изображение)

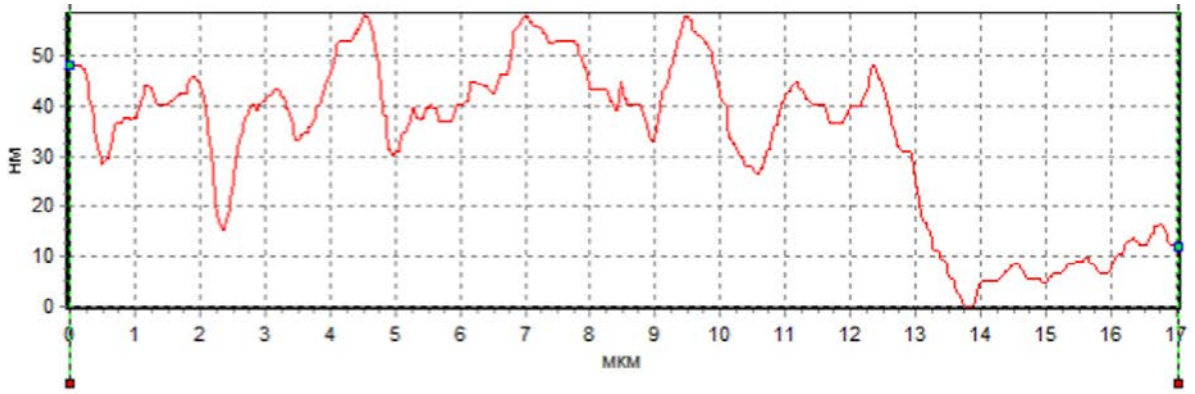


Рис. 3 Профиль поверхности покрытия из молибдена, полученный методом ЛИМ

Рассчитанные средние значения шероховатости (*Ra*=13.1 нм) и (*Rz*=27.5 нм) по четырем профилям поверхности покрытия на базовой длине 80 мкм отражают снижение шероховатости поверхности после формирования покрытия магнетронным распылением молибдена в 6 и 7,5 раза по *Ra* и *Rz* соответственно. Таким образом, полученное покрытие относится к 13 классу шероховатости (наивысший класс – 14), что свидетельствует о возможности применения метода магнетронного распыления к формированию покрытий с низкой степенью шероховатости поверхности.

Библиографический список

1. Сорокин, Ю.С. Обзор методов поверхностного ионно-плазменного модифицирования материалов [Текст] / Ю.С. Сорокин, Д.А. Полонянкин // Актуальные проблемы современной науки: материалы III межвузовской науч.-практ. конф. студентов / [ред.-кол.: Вал.И. Суриков, В.К. Волкова, Т.В. Куниевская]. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – С. 85 – 87. http://elibrary.ru/item.asp?id=21612455.

2. Кочубей, В.А. Структура, микроморфология и оптические свойства пленок вольфрама, полученных методом магнетронного распыления [Текст] / В.А. Кочубей, В.В. Атучин, Т.А. Гаврилова, В.Н. Кручинин, Л.Д. Покровский // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2014. – № 4. – С. 449–455. http://elibrary.ru/item.asp?id=22738056.

3. Лузанов, В.А. Получение тонких пленок тантала с использованием метода магнетронного распыления [Текст] / В.А. Лузанов, Веденеев А.С., Рыльков В.В., Темирязева М.П., Козлов А.М., Духновский М.П., Бугаев А.С.// Радиотехника и электроника. – 2015. – том 60. – №12. – С.1251. http://elibrary.ru/item.asp?id=24730534.

4. Зима, В.В. Влияние технологических параметров магнетронного распыления на механические напряжения и шероховатость поверхности пленок молибдена [Текст] / В.В. Зима, Т.Н. Танская // Успехи современной радиоэлектроники. – 2014. – № 11. – С. 62–69. http://elibrary.ru/item.asp?id=22809463.

5. Majid, K. et al. Deposition and characterization of molybdenum thin films using DC plasma magnetron sputtering [Text] / K. Majid, M. Islam // Semiconductors. – 2013. – №12. – P. 1610–1615. DOI: http://dx.doi.org/10.1134/S1063782613140017.

6. Ананьев, С.Д. К вопросу о влиянии шероховатости поверхности на проводимость тонких пленок [Текст] / С.Д. Ананьев, В.В. Вьюрков, А.А. Орликовский // Микроэлектроника. – 2004. – № 33. – С. 198–203. http://elibrary.ru/item.asp?id=17662723.

7. Городецкий, Д.А. Структура и электронные свойства пленок ванадия на молибдене (100) [Текст] / Д.А. Гродецкий, Ю.П. Мельник, В.А. Усенко, А.А. Ясько // Физика твердого тела. – 1995. – том 37. – №6. – С. 1584–1593. http://elibrary.ru/item.asp?id=21312232.

8. Полонянкин, Д.А. Поверхностное ионно-плазменное модифицирование тарировочных пластин установки лазерной резки «LaserMat-4200» / Д.А. Полонянкин // Физическое образование в вузах. – № 1С (21). – 2015. – С. 85 – 86. http://elibrary.ru/item.asp?id=23179664.

9. Макеев, А.В. Анализ современных методов исследования шероховатости поверхности деталей [Текст] / А.В. Макеев, С.А. Валерик // Вестник СГУИТ. – 2014. – №4. – С. 80–86. http://elibrary.ru/item.asp?id=23045482.

10. Резчиков, А.Ф. Высокоразрешающие интерференционные методы контроля рельефа поверхности и слоистой структуры изделий точного машиностроения и приборостроения [Текст] / А.Ф. Резчиков, В.П. Рябухо // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – №1. – С. 68 – 79. http://elibrary.ru/item.asp?id=13001959.

11. Вебер, М. Конфокальная микроскопия микро– и наноструктурированных поверхностей материалов [Текст] / М. Вебер // Наноиндустрия. – 2011. – том 28. – №4. – С.42–47. http://elibrary.ru/item.asp?id=17016675.

12. Морозова, Л.В. Исследование закономерностей изменения рельефа поверхности образцов из алюминийлитиевых сплавов лазерной микроскопии [Текст] / Л.В. Морозова, И.В. Исходжанова // Труды ВИАМ. – 2014. – №10. – С.8. http://elibrary.ru/item.asp?id=22029102.

13. C. Molpeceres et al., Metrologic assessment of high power laser generated surface roughness by confocal laser scanning microscopy [Text] / C. Molpeceres, S. Lauzurica, J.A. Porro, J.L. Ocaña // Recent Advances in Multidisciplinary Applied Physics. – 2005. – P. 133–140. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/B978-008044648-6.50022-7.

14. Gelali, A. et al. Characterization of microroughness parameters in titanium nitride thin films grown by DC magnetron sputtering [Text] / A. Gelali, A. Ahmadpourian, R. Bavadi, M.R. Hantehzadeh, A. Ahmadpourian // Journal of Fusion Energy. – 2012. – vol. 31. – P. 586–590. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10894-012-9510-z.

15. Blesman, A.I. et al. The combined ion-plasma method for the superficial modification of the products of constructional steel operating under the conditions of short-term extreme thermal conditions [Text] / A.I. Blesman, D.V. Postnikov, D.A. Polonyankin, E.A. Rogachev // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2014. – P. 1–7. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/Dynamics.2014.7005639.

УДК 621.791.92

О. Э. Матц, И. А. Батаев
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СЛОЁВ НА ТИТАНОВЫХ ПЛАСТИНАХ

Аннотация. Метод электронно-лучевой наплавки позволяет формировать качественные защитные покрытия. Чаще всего к таким покрытиям предъявляются следующие требования: высокие показатели коррозионной стойкости, пластичности, а также стойкость к износу и высоким температурам. Перечисленными свойствами обладают интерметаллиды системы Ti-Al. В частности, отмечается, что покрытия, состоящие из алюминидов титана, являются наиболее эффективными, поскольку одновременно сочетают в себе указанные свойства и такие, как жаропрочность, стойкость к окислению, малая плотностью и повышенная твердость. В данной работе представлены результаты растровой электронной микроскопии, оценена микротвёрдость покрытий, а также приведены результаты рентгенофазового анализа. Показано, что в полученных слоях отсутствуют крупные дефекты, значение микротвёрдости наплавленных слоев превышает значение микротвёрдости материала основы. Наплавленные слои имеют следующий фазовый состав: Ti_3Al, TiAl и α-Ti.

Ключевые слова: электронно-лучевая наплавка, алюминиды титана, титановые сплавы, алюминий, интерметаллиды, защитные покрытия

Для формирования интерметаллидных слоёв использовались основы из титанового сплава ВТ1-0 и порошки титана и алюминия марки, представленные в таблице 1. Слои были сформированы методом электронно-лучевой наплавки на ускорителе электронов ЭЛВ-6 (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН). На основу толщиной 12 мм наносились порошковые смеси из алюминия и титана, после чего поверхность заготовок нагревалась электронным пучком. Режимы электронно-лучевой обработки представлены в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав исходных материалов, вес. %

	Al	Ti	O	Ag	Cu	Ni	S	Fe	W	Na	Mg	Cr	Ca	Mo	P
ВТ1-0	0,03	99,45	-	-	0,03	0,03	0,04	0,12	0,05	0,1	0,05	0,03	0,01	-	
ПорошокTi		98,68				0,14		0,06			0,07	0,26	0,16	0,17	0,37
ПорошокAl	97,28	-	1,96	0,77	-	-	-	-	-						

Таблица 2

Режимы электронно-лучевой наплавки.

Состав порошковой смеси, вес. %	Состав флюса, вес. %	Плотность насыпки, г/см^2	Ток пучка, мА	Энергия пучка, МэВ	Скорость перемещения столика, мм/с	Расстояние от выпускного отверстия, мм	Частота сканирования, Гц
16,97 Al – 28,27 Ti	41,07 CaF_2 – 13,69 LiF	0,45	16	1,4	10	90	50
			18				

Структурные исследования полученных материалов проводились методом растровой электронной микроскопии на микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP в режиме обратнорассеянных электронов. Подготовка образцов для структурных исследований осуществлялась по стандартной методике. Материалы, залитые в полимер, шлифовались на абразивной бумаге различной зернистости (от 100 до 2500 grit) на установке Struers Labo Pol-5 и полировались с помощью оксида алюминия с размером зерна ~ 3 мкм. Для финишной полировки использовался коллоидный раствор оксида кремния (0,04 мкм).

Элементный состав покрытий определялся с помощью энергодисперсионного анализатора INCAX-ACT (OxfordInstruments), установленного на растровый электронный микроскоп. Для исследования фазового состава использовался рентгеновский дифрактометр ARLX'TRAX-ray. В качестве источника рентгеновского излучения использовали медную трубку. Съемка дифракционных картин осуществлялась в пошаговом режиме с размером шага 0,05^o и временем накопления на точку, равным 6 секундам.

Для измерения уровня микротвердости использовался полуавтоматический прибор Wolpert Group 402 MVD. Нагрузка на алмазный индентор была равна 100 г. Измерения проводились в направлении от наплавленного слоя к материалу основы.

По результатам растровой микроскопии установили, что толщина слоёв, полученных наплавкой при токе пучка 16 мА и 18 мА, составила 900 мкм и 1200 мкм соответственно, что обусловлено увеличением тока пучка. При увеличении тока пучка растет величина энергии, вводимой в материал, и, соответственно, увеличивается толщина зоны переплава. При одинаковых исходных концентрациях элементов в порошковых насыпках ток пучка может играть решающую роль в формировании структуры и фазового состава покрытий, поскольку увеличение указанного параметра приводит к более существенному разбавлению легирующего порошка материалом основы. Об этом свидетельствуют результаты анализа элементного состава образцов. Среднее содержание алюминия и титана в образцах, сформированных при токе пучка 16 мА и 18 мА, составляет: 48 Al–52 Ti и 35 Al– 65 Ti (ат. %) соответственно.

Слой, сформированный при обработке электронным пучком, ток которого составлял 16 мА, имел преимущественно дендритное строение (рис. 1, а). Различный контраст дендритных ветвей и междентритного пространства может свидетельствовать о различии состава отмеченных зон. В работе [1] отмечается, что в сплавах с содержанием алюминия 45 - 48 ат. % более светлые дендритные ветви обогащены титаном, в то время как междендритное пространство почти полностью состоит из γ-зерен. По данным работы [1], полученная структура может быть представлена смесью пластин α_2- и γ-алюминидов титана, которым соответствуют соединения AlTi и $AlTi_3$ соответственно. Данный факт подтверждается результатами рентгенофазового анализа (рис. 2). Концентрация алюминияв данном образце, равная 48 %, соответствует области на границе γ-фазы и механической смеси γ- и α_2-алюминидов. Поскольку рентгенофазовый анализ показал наличие двух фаз, то вероятнее всего в данном случае наблюдается формирование интерметаллида AlTi, близкого к эквиатомному составу, а избыточный титан входит в состав фазы $AlTi_3$.

К другим особенностям рассматриваемого образца относятся примесные элементы, сконцентрированные по границам дендритных ветвей. Элементный анализ показал, что в их состав входяттакие элементы, как P, Cu и Si (рис. 1, а, табл. 3).

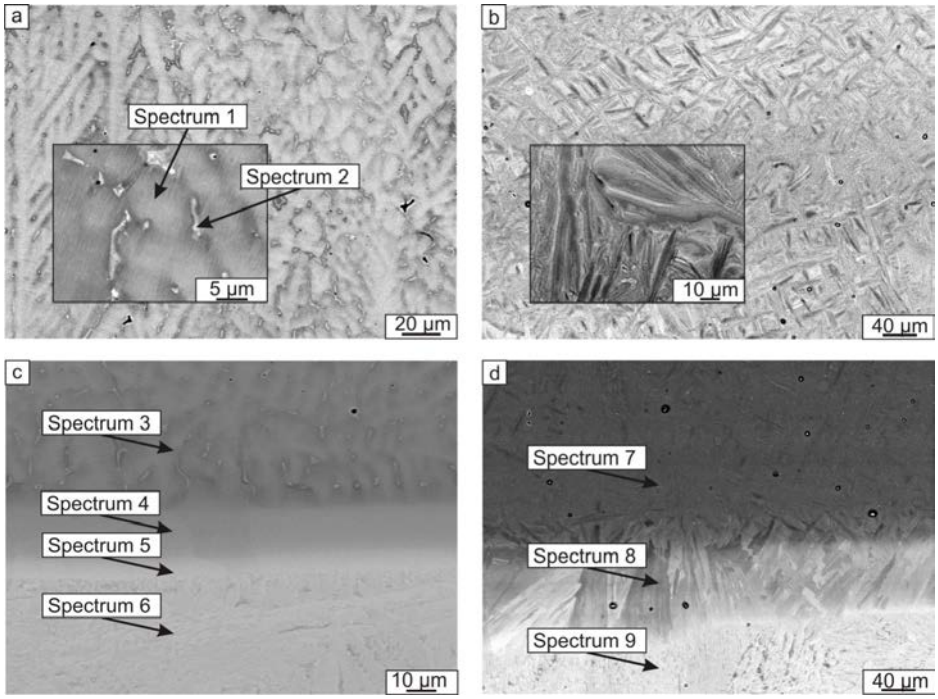


Рис. 1 Структура покрытий, наплавленных при токе пучка: а – 16 мА, б – 18 мА и переходная зона между основой и покрытием, сформированным при токе пучка: в – 16 мА, г – 18 мА.

Увеличение тока пучка привело к более глубокому проплавлению и, как следствие, к более интенсивному разбавлению наплавочного материала материалом основы. Следствием этого стало формирование однофазного покрытия, состоящего только из α_2-фазы ($AlTi_3$) (рис. 2). При этом количественный анализ показал, что $AlTi_3$, содержащийся в образце, обогащен алюминием. Игольчатая структура наплавленного слоя представлена на рис. 1,b.

Структура переходных зон обоих образцов несколько отличается по контрасту и структуре, как от материала основы, так и от наплавленного слоя (рис. 1c, d). Переходный слой между основой и материалом, наплавленным при токе пучка 16 мА, состоит из двух прослоек, которые отвечают по составу обогащенному и обедненному алюминием интерметаллиду $AlTi_3$ (рис. 1, c, табл. 3). Переходная зона между титаном и интерметаллидным слоем, сформированным при токе пучка 18 мА, соответствует фазе $AlTi_3$, состав которой близок к эквиатомному (рис. 1, d, табл. 3).

Таблица 3

Элементный состав локальных зон интерметаллидных покрытий.

Element / Zone	Al, at. %	Ti, at. %	P, at. %	Si, at. %	Cu, at. %
Spectrum 1	46.15	53.85	-	-	-
Spectrum 2	47.56	45.45	4.97	0.35	1.68
Spectrum 3	47.58	52.42	-	-	-
Spectrum 4	33.58	66.42	-	-	-
Spectrum 5	23.72	76.28	-	-	-
Spectrum 6	3.48	96.52	-	-	-
Spectrum 7	36.42	63.58	-	-	-
Spectrum 8	26.97	73.03	-	-	-
Spectrum 9	-	100	-	-	-

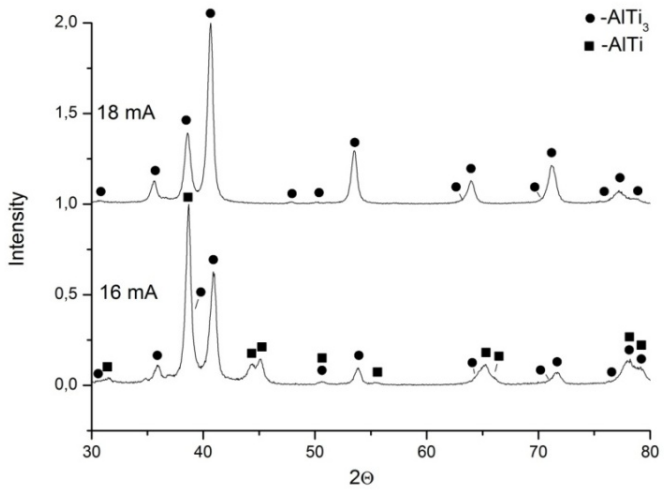


Рис. 2 Результаты рентгенофазового анализа покрытий, сформированных на титановых основах методом электронно-лучевой наплавки.

Свойства наплавленного слоя оценивались на основании результатов измерения микротвердости. Было показано, что микротвердость интерметаллидных слоев, наплавленных по различным режимам, выше, по сравнению с микротвердостью материала основы в 3,7 - 3,9 раз (рис. 3).

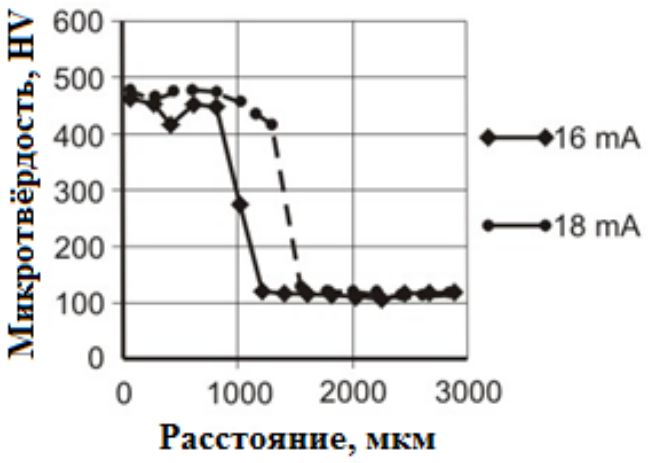


Рис. 3 Микротвердость материалов с наплавленным слоем

Таким образом, структурные исследования слоёв, сформированных на титановых основах путем электронно-лучевой наплавки смеси алюминиевого и титанового порошков состава 16,97 Al – 28,27 Ti (вес. %) путем электронно-лучевой наплавки по различным режимам, показали, что ток пучка в значительной степени влияет на их структрно-фазовый состав. Обработка электронным пучком, ток которого составил 16 мА, привела к формированию двухфазного покрытия, содержащего фазы AlTi и $AlTi_3$ и имеющего пластинчатую структуру. Увеличение тока пучка до 18 мА привело к формированию однофазного слоя, состоящего из $AlTi_3$. Формирование интерметаллидного слоя на поверхности технически чистого титана привело к значительному увеличению его твердости (до 480 HV).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № НК 15-38-20776\15.

Библиографический список

1. F. Appel, J. D. H. Paul, and M. Oehring, Gamma Titanium Aluminide Alloys: Science and Technology, 2011.

УДК 621.9.048

Ю.К. Машков, Б.Ш. Алимбаева[1], М.Ю. Байбарацкая[1]
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.
[1]Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 15ХГН2ТА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ

Аннотация: Анализируется влияние материалов легирующих электродов и режимов электроискровой обработки на микротвердость, толщину и триботехнические свойства модифицированных поверхностных слоев, формируемых при различных технологических режимах. Установлено, что с повышением параметров энергетических режимов электроискровой обработки микротвердость поверхностных слоев увеличивается, а скорость изнашивания сопряженных полимерных деталей снижается.

Ключевые слова: электроискровая обработка, легирующий электрод, микротвердость, толщина покрытия, скорость изнашивания, оптимизация.

Введение. Надежность и эффективность машин и технологического оборудования определяются в основном износостойкостью и долговечностью металлических и полимерных деталей трибосистем. В промышленности в зависимости от условий эксплуатации изделий применяются различные методы поверхностного модифицирования и упрочнения сталей и сплавов (ионная имплантация, фрикционно-электрическое модифицирование и др.) [1]. Все известные методы поверхностного упрочнения и восстановления имеют свои достоинства и область применения, но в полной мере не удовлетворяют современным требованиям к эффективности, универсальности и экономичности технологических процессов. Поэтому разработка эффективного, достаточно простого для освоения в промышленном производстве и экономичного метода повышения износостойкости деталей узлов трения остается актуальной научной и практической задачей.

Наиболее перспективными в настоящее время являются методы поверхностного модифицирования деталей трибосистем с применением высококонцентрированных потоков энергии, к которым относится и электроискровая обработка (ЭИО), позволяющая получать поверхностные слои и покрытия с высокими физико-механическими и триботехническими

свойствами вследствие сложных плазмохимических и теплофизических процессов, происходящих на локальных участках поверхности обрабатываемой детали под воздействием энергии искрового разряда [2, 3].

Физическая суть процесса электроискровой обработки деталей в термодинамической системе «легирующий электрод – обрабатываемая деталь» характеризуется тем, что при заданном режиме обработки формируются и одновременно устойчиво функционируют два энергетических потока: активационный поток электрической энергии и диссипативный поток тепловой энергии. Одновременное функционирование двух названных потоков приводит систему к стационарному термодинамическому состоянию, которое согласно И. Пригожину возможно в открытых неравновесных термодинамических системах, благодаря этому обеспечивается устойчивость системы и технологического процесса ЭИО [4].

Актуальность исследований в области ЭИО определяется тем, что метод электроискровой обработки находит применение как технология двойного назначения для металлополимерных узлов трения машин специального назначения.

Цель работы – исследование влияния состава материала легирующих электродов (ЛЭ) и технологических режимов ЭИО на микротвердость, толщину и триботехнические свойства модифицированных поверхностей и покрытий, при фрикционном взаимодействии с образцами полимерного композиционного материала в металлополимерной трибосистеме.

Оборудование и методика эксперимента. Исследование проводили на образцах, изготовленных из конструкционной стали 15ХГН2ТА. Образцы подвергались ЭИО следующими легирующими электродами: стандартный электрод марки Т15К6; электрод ИМХ2, содержащий 50% WC-Co, 50% Ni-Cr-B-Si; электрод Ш2 с минеральным сырьем Дальневосточного региона на основе TiC-Ni-Cr-Al-ШЛК (шеелитовый концентрат $CaWO_4$) [5]. Обработку стальных образцов осуществляли на установке IMES-01-2 на режимах: анодно-катодное напряжение U = 80-120 В, разрядная емкость конденсаторов C = 34-150 мкФ, продолжительность обработки t = 4-5 мин/см^2.

Методика исследования включала изучение влияния состава материала ЛЭ и технологических режимов обработки на фазовый состав, микротвердость и толщину покрытий. Микротвердость поверхностных слоев определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3М. Исследование структуры и фазового состава поверхностного слоя стальных образцов в исходном состоянии и после электроискровой обработки проводили методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker) в Cu-K_α излучении в области углов $5^0 \div 120^0$ (2θ). Толщину наносимых покрытий измеряли на горизонтальном оптиметре ИКГ-3.

Износостойкость металлополимерных пар трения исследовали на специальной установке – трибометре, в рабочем узле которого реализуется торцовая схема трения «палец-диск». Контробразцами служили цилиндрические пальцы диаметром 5 мм из композиционного материала на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ). Методикой предусматривалось испытание комплекта из трех полимерных контробразцов в течение трех часов с каждым металлическим образцом при контактном давлении P = 2,66 МПа и скорости скольжения V = 1,20 м/с. После каждого испытания контробразцы протирались, сушились, взвешивались на микроаналитических весах ВЛР-200 с погрешностью не более 0,25 мг.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты исследования влияния режимов ЭИО на толщину формируемых покрытий показали, что с повышением энергетических режимов ЭИО (анодно-катодного напряжения от 80 В до 160 В и емкости конденсаторов от 34 мкФ до 240 мкФ) толщина покрытий увеличивается на 48…83%, наибольшая толщина покрытия 210 мкм получена при обработке электродом ИМХ2 (рис. 1).

Анализ полученных зависимостей (рис. 2) HV = f(C) показывает, что наиболее высокие значения микротвердости покрытий (HV 900…1080) получены при использовании электро-

дов ИМХ2 и Т15К6. Кроме того, по графикам видно, что повышение энергетических режимов обработки по-разному влияет на характер изменения микротвердости покрытий при изменении материала легирующего электрода.

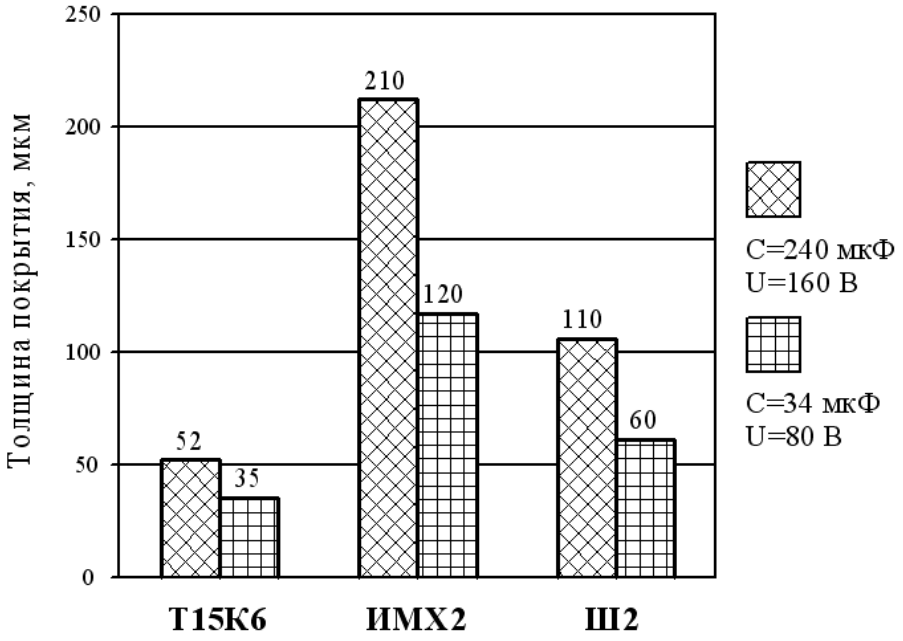


Рис. 1 Влияние материала легирующего электрода на толщину покрытия образца из стали 15ХГН2ТА

Из графиков также видно, что при обработке электродом Т15К6 максимальная микротвердость получена при U = 80 В и емкости C = 150 мкФ. Дальнейшее увеличение напряжения приводит к резкому снижению микротвердости поверхностного слоя. Применение электрода Ш2 позволяет повысить микротвердость формируемого покрытия в меньшей степени, чем применение других легирующих электродов. Наибольшее повышение микротвердости (HV1080) обеспечивается при ЭИО электродом ИМХ2 с напряжением 80 В и емкостью 120 мкФ, что на 20….28% выше максимальной микротвердости, полученной по обработке другими электродами.

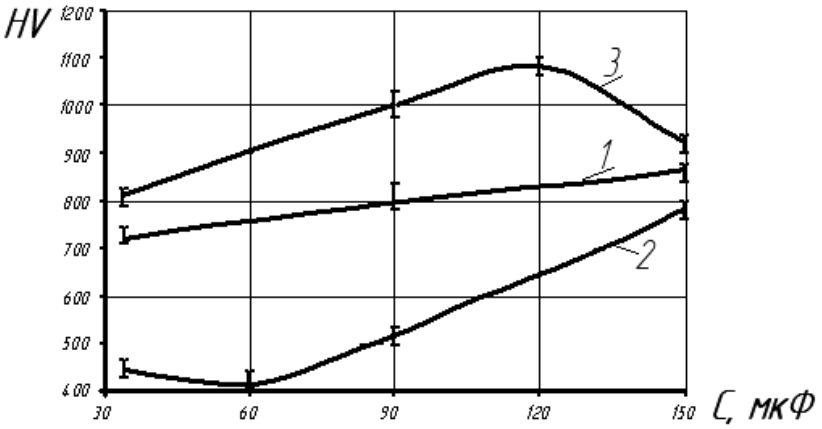


Рис. 2 Зависимость микротвердости поверхностных слоев образцов, модифицированных ЭИО различными электродами, от разрядной емкости при U = 80 В:
1 – Т15К6; 2 – Ш2; 3 – ИМХ2

Триботехнические свойства модифицированных поверхностей согласно методике оценивали по скорости изнашивания полимерных контробразцов при трении скольжения по мо-

дифицированной поверхности образцов, обрабатанных электродом ИМХ2 [6]. Оценку скорости изнашивания производили по величине массового износа полимерных контробразцов.

С целью наглядного представления о характере влияния уровня энергетического воздействия на износостойкость металлополимерной пары трения по результатам испытаний были рассчитаны и построены зависимости J = f(E) (рис. 3). Они позволяют сделать вывод о том, что с увеличением энергии импульса при ЭИО образцов электродом ИМХ2 скорость изнашивания полимерного контробразца снижается в 1,2-1,3 раза.

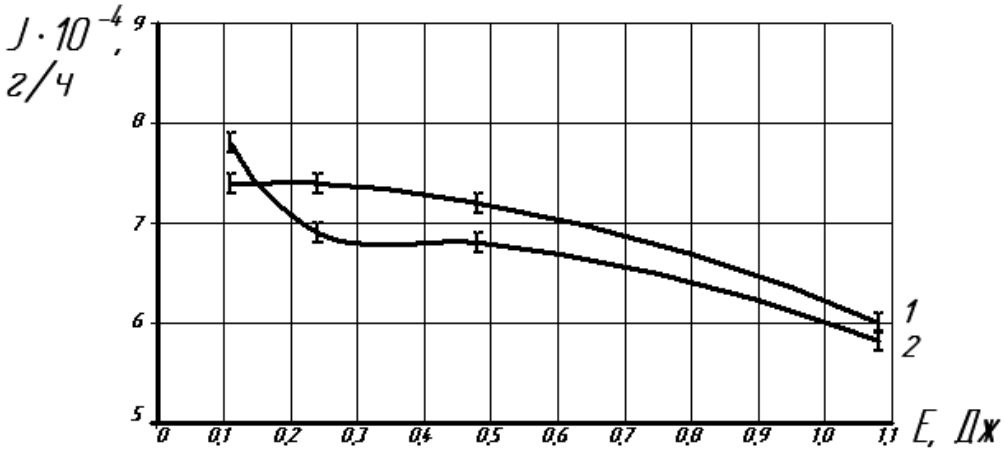


Рис. 3 Зависимость скорости изнашивания полимерных контробразцов от энергии импульса при ЭИО образцов из стали 15ХГН2ТА: 1 – продолжительность ЭИО 4 мин/см^2; 2 – продолжительность ЭИО 5 мин/см^2

С целью изучения физических причин изменения микротвердости модифицированных поверхностей стальных образцов и скорости изнашивания полимерных контробразцов исследовали влияние материалов легирующих электродов на фазовый состав обработанных поверхностей и покрытий методами рентгенофазового анализа.

В табл. 1 приведены значения межплоскостных расстояний и фазовый состав покрытий на образцах стали 15ХГН2ТА, обработанных различными электродными материалами.

Таблица 1

Значения экспериментальных межплоскостных расстояний и фазовый состав в покрытии после ЭИО образцов 15ХГН2ТА

Материал ЛЭ	$d_{эксп}$, Å	Фазы				
		TiC	(CrTi)C	$FeNi_3$	FeC	$AlNi_3$
Т15К6	2,50	+				
	2,16	+				
	1,52	+				
ИМХ2	2,05			+		
	1,78			+		
	1,25			+		
Ш2	2,49		+			
	2,15		+			
	2,09				+	
	2,04					+
	1,81				+	
	1,78					+
	1,52		+			
	1,28				+	
	1,07					+

Примечание. Знаком «+» отмечено наличие фаз в покрытии.

Расшифровка рентгенограмм показала, что обработка электродом Т15К6 приводит к появлению в покрытии значительного количества TiC.

По данным РФА поверхность, сформированная электродом Ш2, кроме основной фазы FeC содержит фазы $AlNi_3$ и (CrTi)C. Электроискровая обработка поверхности электродом ИМХ2 способствует появлению в покрытии $FeNi_3$ и FeCr. Образование интерметаллидов с участием железа, алюминия и хрома являются следствием микрометаллургических процессов, протекающих на поверхности в результате перемешивания и химического взаимодействия компонентов легирующего электрода с материалом образца.

Оптимизацию режимов ЭИО проводили по результатам полного факторного эксперимента. Установлено, что в интервале напряжений 145-150 В при емкости конденсаторов 225-230 мкФ и обработке в течение 3-4 минут обеспечивается наименьшее значение скорости изнашивания сопряженных полимерных контробразцов.

Заключение:

1. Повышение энергетических режимов ЭИО (емкости конденсаторов и напряжения импульса) и применение электродов на основе карбида вольфрама и карбида титана с добавками флюсообразующих компонентов и минерального сырья Дальневосточного региона (шеелитового концентрата) способствует увеличению толщины формируемых покрытий.

2. Микротвердость покрытий зависит от режимов ЭИО и материала легирующего электрода; зависимости микротвердости имеют экстремальный характер с максимумом при напряжении U = 80 В и емкости C = 120 мкФ, который в 3,0-4,0 раза превышает микротвердость конструкционной стали в нормализованном состоянии.

3. Обработка стальных поверхностей легирующими электродами различного химического состава приводит к образованию в поверхностном слое и покрытии различных фаз: карбидов FeC, TiC, интерметаллидов железа, хрома, никеля, вольфрама, а также твердых растворов и оксидов железа.

4. Электроискровая обработка стальных поверхностей приводит к значительному в 1,6-2,0 раза снижению скорости изнашивания сопряженных полимерных контробразцов из ПКМ на основе ПТФЭ при трении их по модифицированному стальному образцу; наибольшее снижение скорости изнашивания достигается при напряжении U = 145-150 В, емкости конденсаторов C = 225-230 мкФ.

Библиографический список

1. Машков, Ю.К. Трение и модифицирование материалов трибосистем / Ю.К. Машков, К.Н. Полещенко, С.Н. Поровознюк, П.В. Орлов. – М.: Наука, 2000. – 280 с.
2. Машков, Ю.К. Повышение механических и триботехнических свойств конструкционной стали методом электроискровой обработки / Ю.К. Машков, М.Ю. Байбарацкая, Б.Ш. Алимбаева // Материаловедение. – 2015. – № 9. – С. 20-24.
3. Mashkov, Y.K. Rresearch and optimization of technological modes of electro-spark processing details of tribosistem / Y.K. Mashkov, D.N. Korotaev, M.Y. Baybaratskaya, B.Sh. Alimbaeva // В сборнике: 2014 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics 2014 - Proceedings 2015. С. 7005682.
4. Пригожин, И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондипуди. – М.: Мир, 2002. – 461 с.
5. Николенко, С.В. Новые электродные материалы для электроискрового легирования / С.В. Николенко, А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 218 с.
6. Машков, Ю.К. Влияние электроискровой обработки на структуру и свойства модифицированных поверхностей трения / Ю.К. Машков, Д.Н. Коротаев, Б.Ш. Алимбаева, М.Ю. Байбарацкая, О.В. Малий // Трение и износ. – 2016. – Т. 37. – № 1. – С. 83-88.

УДК 538.975

С.П. Назаров, Ю.С. Сорокин
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ НАПЫЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ МАТЕРИАЛА-МОДИФИКАТОРА

Аннотация. В работе исследуется зависимость толщины напыляемого покрытия трех видов материалов мишени на стальную подложку при одинаковых режимах работы магнетронной установки.

Ключевые слова: покрытие, тонкие пленки, молибден, вольфрам, тантал, магнетронное распыление.

В настоящее время задача модифицирования существующих материалов является актуальной проблемой для материаловедения. Стали, используемые для изготовления деталей и конструкций, работающих в агрессивных средах, должны обладать уникальными свойствами.

К высокоэффективным методам модифицирования материалов можно отнести метод магнетронного напыления. В результате на поверхности напыляемого изделия появляется тонкая пленка из материала мишени. Подбор материала покрытия существенно влияет на свойства модифицированного изделия (триботехнические, механические, электропроводные и др.). Эти свойства в свою очередь зависят от свойств и качества полученных напыленных на подложку покрытий. В качестве главного параметра тонких пленок является ее толщина. Во всех случаях напыления необходимо точно знать, какую толщину покрытия нужно получить [2].

В данной работе исследовалась зависимость толщины напыляемого покрытия от времени напыления различных материалов мишени при одинаковых рабочих параметрах на стальные подложки. В качестве объекта исследования были выбраны образцы из конструкционной стали 38Х2МЮА. Материалам мишени являются молибден (Mo), вольфрам (W) и тантал (Ta).

Основной задачей являлось напыление покрытия на образцы толщиной 300 нм. Процесс напыления проводился на установке магнетронного напыления ADVAVAC VSM-200. Для проведения напыления были выбраны следующие рабочие режимы:

- Температура нагрева подложки $T = 200°C$;
- Сила тока $I = 0{,}3\ A$;
- Давление в камере $P = 4 \ldots 4{,}4 \cdot 10^{-1}$ Па;
- Толщина покрытия $S = 300$ нм.

Для определения толщины покрытия использовался датчик толщинометр Sycon STC-2000A. Контроллер для измерения скорости напыления и толщины плёнки STC-2000A работает с кварцевыми кристаллами, частота которых ~ 6 МГц. Программное обеспечение позволяет в режиме реального времени рассчитывать толщину напыляемой плёнки.

Принцип действия кварцевого датчика основан на зависимости частоты генерируемых сигналов от изменения массы кварцевого элемента при нанесении на его поверхность пленки. С увеличением массы кварцевого элемента его резонансная частота падает. Для линейного участка зависимости частоты от массы нанесенной пленки справедливо следующее соотношение [1]:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\Delta m}{m_0}; \qquad (1)$$

где m_0 и f_0 – масса и резонансная частота кварцевого элемента до нанесения пленки; Δm и Δf – изменение массы кварцевого элемента и резонансной частоты после нанесения пленки.

Таким образом, по изменению скорости (сдвига) резонансной частоты, фиксируемому измерительным прибором, определяют скорость роста пленки. Схема представлена на рис. 1.

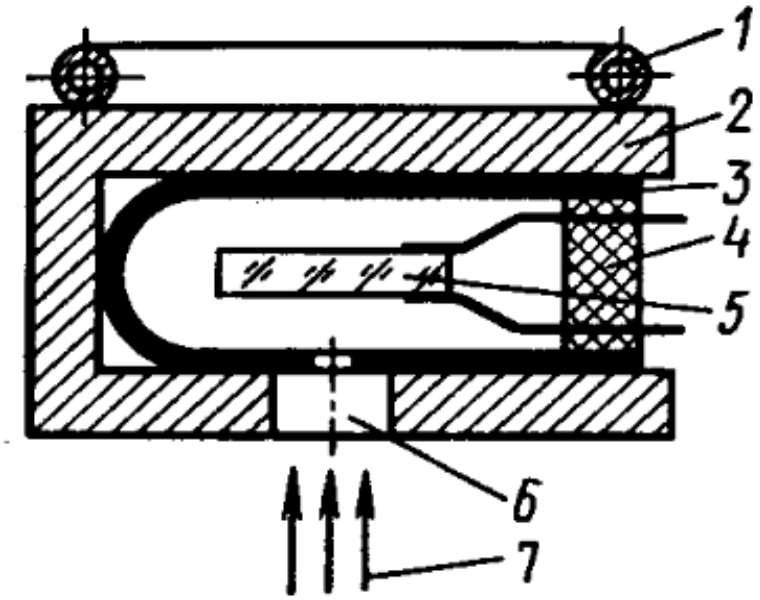


Рис.1 Схема кварцевого датчика:
1 – медная трубка; 2 – держатель; 3 – кожух; 4 – керамический изолятор;
5 – кварцевый элемент; 6 – отверстие; 7 – поток частиц осаждаемого материала.

В этой работе через каждые равные промежутки времени (5 мин) регистрировались значения толщины (в течении 40 мин) с датчика. После 40 минут прибор был отключен и по построенному графику определили точное общее время напыления 300 нм покрытия для каждого материала мишени. Полученные графики представлены на рисунках 2, 3, 4.

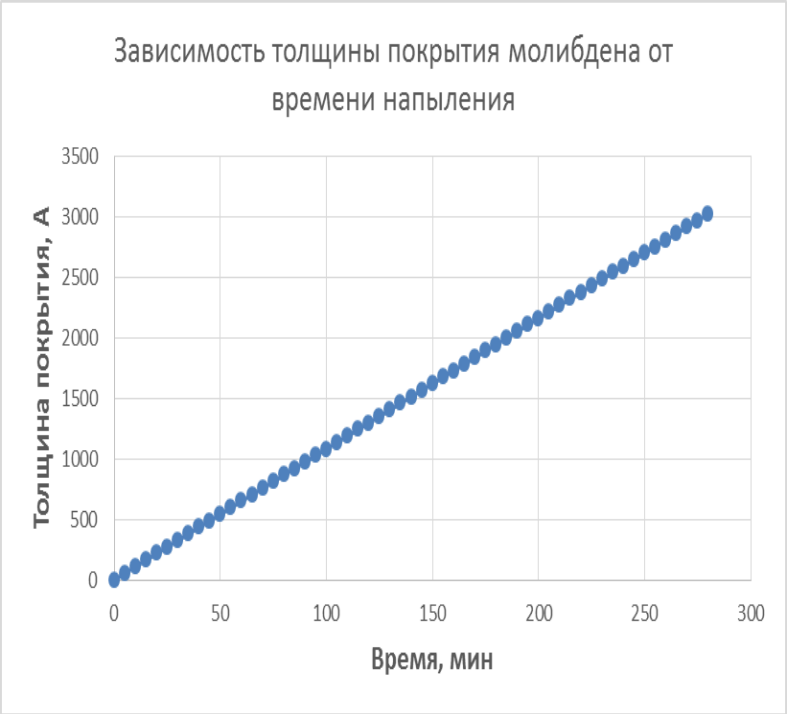


Рис. 2 График зависимости толщины покрытия молибдена от времени напыления.

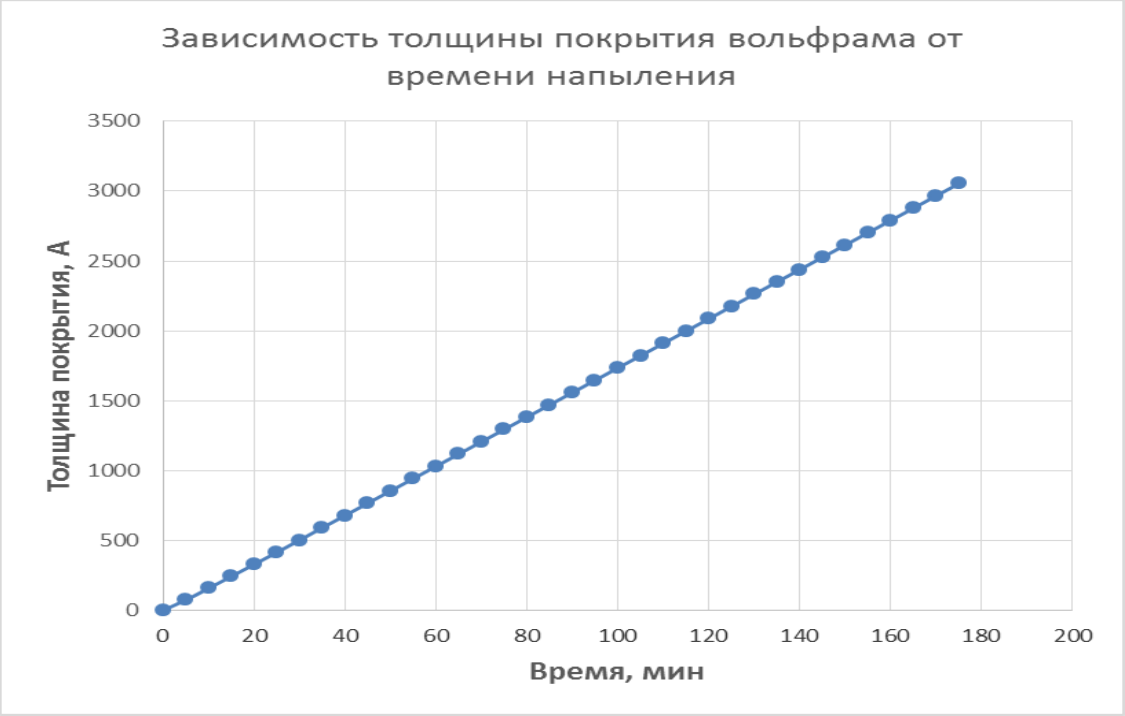


Рис. 3 График зависимости толщины покрытия вольфрама от времени напыления.

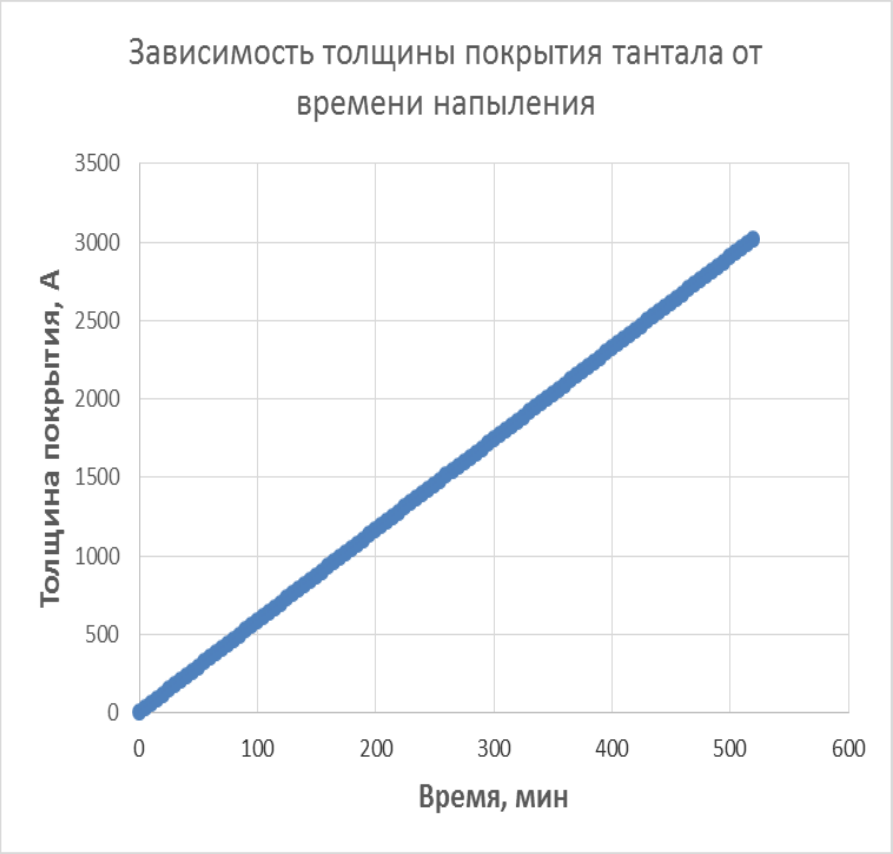


Рис. 4 График зависимости толщины покрытия тантала от времени напыления.

По графикам видно, что зависимость получается линейной. Это значит, что за одинаковые промежутки времени напыляется одинаковая толщина покрытия. Для наглядности был составлен общий график зависимостей толщины покрытия от времени напыления для разных материалов мишени (рис. 5).

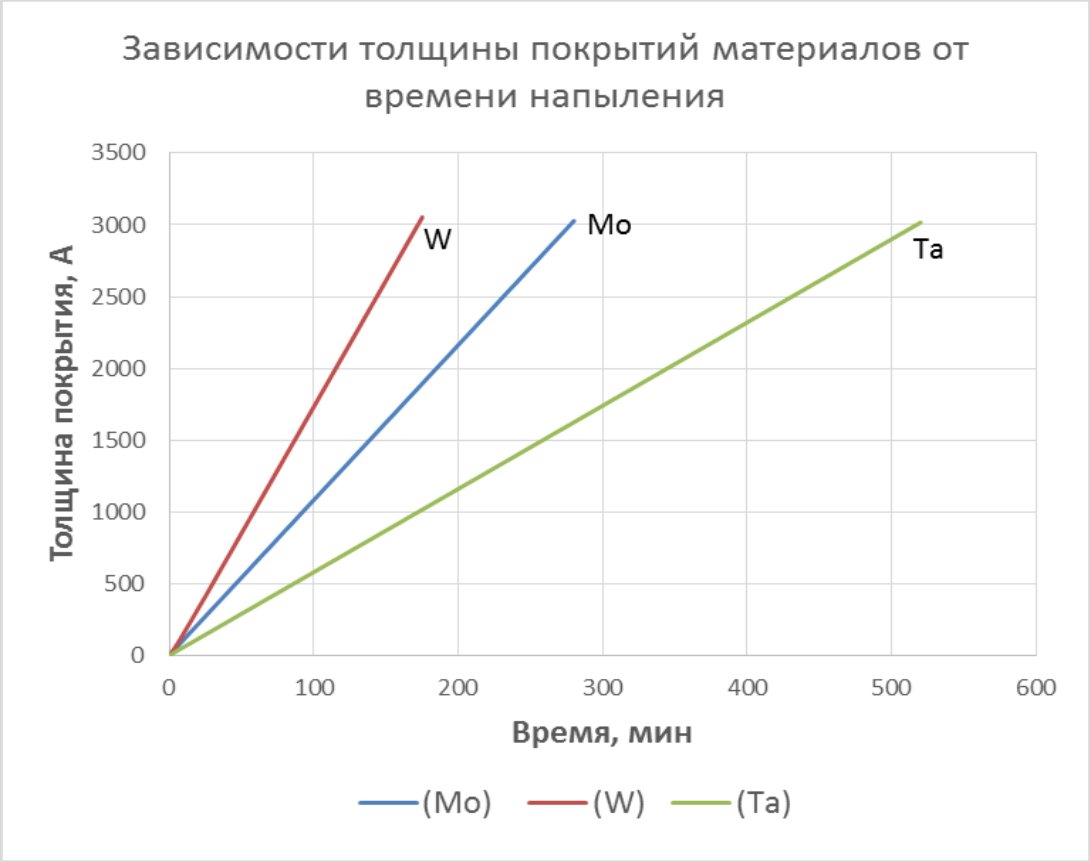


Рис. 5 График зависимости толщины покрытий материалов мишени от времени напыления.

В итоге были получены следующие результаты: напыление 300 нм молибдена составило 280 мин (4 ч); для вольфрама – 174 мин (2 ч 54 мин); для тантала – 517 мин (8 ч 37 мин).

По полученным результатам стало возможным определение коэффициента скорости напыления V для каждого вида материала покрытия. Расчет производился по формуле (2):

$$V = S/t\ (A/c) \tag{2}$$

$$V_{Mo} = 3000/280 \cdot 60 = 0{,}17\ A/c \tag{3}$$

$$V_{w} = 3000/174 \cdot 60 = 0{,}28\ A/c \tag{4}$$

$$V_{Ta} = 3000/517 \cdot 60 = 0{,}09\ A/c \tag{5}$$

где S – толщина покрытия, A;

t – время напыления, c.

Скорость напыления зависит от коэффициента распыления материала мишени Y.

$$Y = \frac{n_A}{n_i} \tag{6}$$

– это отношение числа распыленных атомов к числу упавших на поверхность ионов.

Коэффициент Y определяется не только скоростью напыления, но и зависит от других параметров:

а) энергии ионов;

б) заряда и массы ядра иона;

в) угла падения ионов на поверхность;

г) массы и энергии связи атомов мишени;

д) состояния поверхности (пористость, шероховатость, температура, наличие примесей и др.).

В заключение можно сделать вывод, что материал мишени вольфрам (W) имеет больший коэффициент распыления Y и скорость напыления V, а, следовательно, меньшее время напыления t, в отличие от материалов молибдена (Mo) и тантала (Ta).

Библиографический список

1. Андросова, В. Г. Пьезоэлектрические резонаторы [Текст]: справочник / В. Г. Андросова [и др.]; Под. ред. П. Е. Кандыбы. – М.: Радио и связь, 1992. – 392 с.

2. Березин В. М. Методы формирования тонкопленочных структур: учебное пособие/ В.М. Березин, Н.С. Забейворота. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010 – 96 с.

УДК [620.22+678]:502

О.А. Назарова, В.А. Егорова
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ АВТОТРАНСПОРТА В ОМСКЕ

Аннотация. в статье рассмотрены основные аспекты материаловедческой и экологической проблемы рециклинга резинотехнических изделий автотранспорта с учетом актуальных изменений законодательства Российской федерации. Проанализированы основные источники экологической опасности материалов шин. Рассмотрены основные методы переработки шин предприятиями Омска и показано основное применение продуктов переработки. Проанализированы причины недостаточных объемов переработки автопокрышек в Омске и предложены меры для реализации системы обращения с отходами резинотехнических изделий в городе.

Ключевые слова: переработка материалов, резинотехнические изделия и материалы, утилизация, автопокрышки

Переработка резинотехнических изделий – комплекс технологических процессов, обеспечивающий получение продукции, предназначенной для дальнейшего промышленного или бытового использования. Наряду с разработкой новых материалов, изучением структуры и свойств материалов в их взаимосвязи, разработка способов их переработки и утилизации может быть отнесена к важнейшим материаловедческим задачам, сопряженным с обеспечением экологической безопасности.

В соответствии с новой редакцией Федерального закона № 89-ФЗ от 29.12.2014 N 458-ФЗ [1] вместо термина «использование отходов» употребляется понятие «утилизация отходов». При этом под утилизацией понимается «использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), а также извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация)» [1].

Основная задача рециклинга материалов – превращение их во вторичное сырье или продукцию для достижения целей первоначального или иного применения. Использование вторич-

ного сырья увеличивает экономическую эффективность вложений, позволяет в некоторых случаях экономить ценное исходное сырье и обеспечивает экологическую безопасность.

Резинотехнические изделия с сентября 2015 г. включены в разработанный Министерством природных ресурсов и экологии РФ перечень товаров, подлежащих утилизации после утраты ими потребительских свойств [2]. Среди обширной номенклатуры резинотехнических изделий наиболее перспективными в плане утилизации являются автопокрышки в силу своих габаритов и значительных объемов производства.

Автопокрышка – композиционное изделие, содержащее по данным работы [3] с учетом износа вследствие эксплуатации 66% резины (натуральный и синтетический каучук), 17% текстильного и металлического корда, до 16% металла. Основной компонент материала автопокрышек – каучук. Применение натурального каучука ограничивается невозможностью его получения в промышленных масштабах и сложностями импортных закупок [4]. Более 80% шин в мире выпускается из синтетического каучука, получаемого из невосполнимых запасов природной нефти. Очевидно, в состав изношенных автопокрышек входит ценное сырье, которое в процессе эксплуатации шин в основном не теряет своих свойств, что делает целесообразным переработку данных резинотехнических изделий.

Хранение шин при комнатной и повышенной температурах сопровождается выделением в окружающую среду более 100 химических веществ, в том числе чрезвычайно токсичных, мутагенных и канцерогенных [5]. Авторами данной статьи [5] установлен перечень содержащихся в шинах и шинной пыли групп веществ, входящих в список приоритетных токсикантов, составленный Международной организацией по исследованию рака. Наиболее опасны из них бензо(а)пирен и другие полиароматические углеводороды (обнаружено 15 соединений этого класса из 18 известных) и N-нитрозамины (обнаружено 4 вида этих веществ из 12 известных). Несмотря на то, что шины относятся к 4 классу опасности отходов [2], комиссией по канцерогенным факторам Министерства здравоохранения РФ констатирована их канцерогенная опасность для человека вследствие содержания в шинах и шинной пыли летучих N-нитрозаминов и полициклических ароматических углеводородов [6, 7]. По выделению данных веществ в атмосферу вклад шин сопоставим с вкладом выхлопных газов при эксплуатации автомобилей, что также делает проблему переработки автопокрышек весьма актуальной.

Вместе с тем из 1,1 млн тонн отслуживших свой срок автопокрышек в год в переработку вовлекается порядка 5-10% [8]. Основная масса выбрасывается, вывозится на обычные свалки, в том числе и на несанкционированные, закапывается в землю [3], несмотря на то, что поправки, внесенные в закон № 89-ФЗ от 29.12.2014 N 458-ФЗ [1], запрещают захоронение отходов, содержащих в своем составе полезные компоненты, подлежащие утилизации.

Шины не подвергаются биологическому разложению, в естественных условиях для их разрушения потребуется не менее 100 лет, причем контакт шин с атмосферой, осадками, грунтовыми водами, солнечной радиацией сопровождается попаданием в окружающую среду токсичных соединений [3-8]. Еще большую экологическую опасность представляет неконтролируемое сжигание шин.

Актуальна эта проблема и для Омска – крупного промышленного центра России, находящегося на 8 месте по численности населения в стране. По данным сайта [9] за десять лет, предшествующих 2014 году, уровень автомобилизации города увеличился практически в 2 раза. На начало 2015 года в собственности юридических и физических лиц Омской области насчитывалось 657,2 тыс. автотранспортных средств [9], к концу 2015 зарегистрировано 776 568 автомобилей, причем число зарегистрированных в 2015 году легковых авто в 16 раз выше, чем в 2014 г. [10]. Вместе с ростом парка автомобилей увеличивается и количество отслуживших срок эксплуатации автопокрышек.

При очевидной динамике роста числа автомобилей в городе не решен вопрос приема отработанных автопокрышек от населения. В Омске работает только два пункта приема ав-

томобильных шин: "Сибирский центр резиносмешения" и ООО "Новый Город", что крайне мало при таком количестве личного автотранспорта. В результате использованные автопокрышки скапливаются в шиномонтажных мастерских, выбрасываются или сжигаются населением, что неблагоприятно влияет на экологическую ситуацию в городе. Также покрышки используются в качестве топлива в небольших котельных города, хотя при их сжигании образуются такие опасные канцерогены, как бензо(а)пирен, дифенил и пирен.

Из анализа доступных источников сети Интернет и печатной литературы, общения с сотрудниками ведущих предприятий города, связанных с изготовлением, эксплуатацией и переработкой резинотехнических изделий автотранспорта в Омске, выявлено следующее:

- переработку резинотехнических отходов производства предприятий-производителей шин Омска ЗАО «Кордиант-Восток» и ОАО «Омскшина» осуществляет дочернее предприятие ООО «Эталон-Плюс», с населением предприятие не работает;

- в городе отсутствует единая комплексная сеть центров сбора автомобильных покрышек от населения с целью их дальнейшей утилизации;

- отсутствует заинтересованность со стороны малого предпринимательства, владельцев индивидуальных предприятий (к примеру, шиномонтажных мастерских) в сборе автомобильных шин, т.к. не решен вопрос с посреднической транспортной компанией по доставке автомобильных шин на ЗАО «Полигон» - предприятии по утилизации промышленных отходов;

- для реализации сбора и переработки резинотехнических изделий требуются значительные инвестиции при высоком риске не окупить вложений;

- правовая база в сфере утилизации резинотехнических изделий имеет ряд существенных недостатков.

К таким недостаткам можно отнести [11]:

- отсутствие реальных экономических стимулов переработки отходов с целью вовлечения их в хозяйственный оборот;

- нерациональное разделение полномочий по регулированию перерабатывающей сферы деятельности на государственном и муниципальном уровнях власти;

- отсутствие ответственности производителя шин за их утилизацию.

С 2011 года в стране велась активная работа по совершенствованию законодательства в данной сфере при активном участии представителей предприятий, входящих в некоммерческую организацию «Шиноэкология», объединившую ведущие предприятия по утилизации шин [12]. Принятые в 2015 г. и ранее поправки к Федеральному закону № 89-ФЗ от 29.12.2014 N 458-ФЗ [1] законодательно закрепляют обязанность производителей и импортеров различных товаров обеспечивать их утилизацию после выбрасывания товаров потребителями. Неукоснительное исполнение введения запрета на утилизацию отходов, подлежащих вторичной переработке [1], в том числе и резинотехнических изделий автотранспорта, – залог изменения ситуации с переработкой отходов и улучшения экологической обстановки как в Омске, так и в целом по стране. Поправки, внесенные в закон, предполагают сбор на утилизацию резинотехнических отходов, в том числе автопокрышек, для осуществления на эти средства развития перерабатывающей сферы деятельности. С 2016 г. планируемый экосбор за утилизацию автомобильных шин может составить до 9 тыс. рублей за тонну товара [2].

Из известных методов утилизации шин [3, 8, 13-17] Омским предприятием ООО «Эталон-Плюс» используется самый простой в реализации метод механического измельчения. Данный метод переработки сохраняет физико-механические и химические свойства резины, что позволяет выпускать на основе получаемой резиновой крошки продукцию высокого качества [18]. В частности, резиновая крошка используется в безотходной технологии укладки асфальта в Омске, позволяющей утилизировать 30-35 тонн шинной резиновой крошки на одном километре дорожного покрытия и улучшить качество асфальтобетона [19]. Вместе с тем, несмотря на эффективность применения резиновой крошки в строительстве и ремонте дорог, по данным ассоциации «Шиноэкология» [12] в этой отрасли используется лишь 10% общего

объема переработанных автомобильных шин. Это связано в первую очередь с отсутствием единых законодательных норм и правил использования резиноасфальтов. При повсеместном разрушении дорог в Омске в условиях дефицита средств на их восстановление использование долговечных инновационных дорожных покрытий – крайне востребованная задача, и решить ее можно с применением резиновой крошки.

Получаемая предприятием «Эталон-Плюс» резиновая крошка также используется в производстве в качестве добавки при изготовлении новых автопокрышек и резинополимерных композитов; в качестве модификатора битума; для получения гидроизоляционных мастик и различных покрытий.

Также из отходов резинотехнических изделий на предприятии получают шинный регенерат высокого качества, способный к повторной вулканизации. Применение регенерата в производстве автомобильных шин и других резинотехнических изделий позволяет экономить каучук, наполнители, пластификаторы при использовании в резиновых смесях, что значительно удешевляет себестоимость готовых изделий [18].

Тем не менее, мощностей имеющихся предприятий, занимающихся переработкой автомобильных шин в Омске, недостаточно для решения данной проблемы.

В настоящее время в России разрабатывается система управления обращения с отходами резинотехнических изделий, совершенствуется законодательство в данной отрасли. Решение проблемы переработки резинотехнических изделий автотранспорта в Омске требует комплексного подхода. Для повышения эффективности переработки резинотехнических изделий автотранспорта в Омске необходимо создать единую сеть их сбора от населения, транспортировки в пункты переработки и дальнейшей утилизации. Для удобства пункты приема шин на утилизацию целесообразно размещать непосредственно на автосервисах, которые посещают автолюбители, в том числе для замены шин. Необходимо всестороннее изучение преимуществ и недостатков существующих методов переработки резинотехнических изделий для выбора экономически обоснованных современных методов, обеспечивающие экологическую безопасность города. Также необходима разработка нормативной базы на региональном уровне, обеспечивающей исполнение Федерального закона № 89-ФЗ от 29.12.2014 N 458-ФЗ [1].

Библиографический список

1. www.pravo.gov.ru Официальный интернет-портал правовой информации
2. http://www.mnr.gov.ru сайт Министерства природных ресурсов и экологии РФ
3. Лунева Г.И. Старые шины – и опасный, и полезный вид отходов // Рециклинг отходов. 2008 . - №1 (13) - с. 2-11.
4. Ильясов Р.С. Шины. Некоторые проблемы эксплуатации и производства. / Р.С. Ильясов, В.П. Дорожкин, Г.Я. Власов, А.А. Мухутдинов. – Казань, Изд-во Казанского государственного технологического университета. – 2000. – 576 с.
5. Третьяков, О.Б. Воздействие шин на окружающую среду и человека / О.Б. Третьяков, В.А. Корнев, Л.В. Кривошеева. – М.: НЕФТЕХИМПРОМ, 2006. – 154 с.
6. Хесин А.И., Скудатин М.Е., Ушмодин В.Н. Канцерогенная опасность автомобильных шин // Национальная безопасность и геополитика России (федеральное издание). №10-11 (51 - 52), 2003 г. http://www.hesin-tech.ru/article21.html
7. Охотина Н.А. Проблемы загрязнения продукции резиновой промышленности полициклическими ароматическими углеводородами. Часть 1 / Н.А. Охотина, Э.Н. Шарипов, М.Ф. Ильязов, М.В. Ефимов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. - № 3. - С. 129-131.
8. Бобович Б.Б. Утилизация автомобилей и автокомпонентов: Учебное пособие / Б. Б. Бобович. - Москва: Издательство "ФОРУМ", 2011. - 168 с.
9. http://www.omskinform.ru

10. http://ngs55.ru
11. http://punkti-priema.ru/drugoe-vtorsiryo/utilizaciya-pokrishek
12. http://shinoecologhia.ru
13. Worrell E. Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists / Ernst Worrell and Markus A. Reuter: Elsevier, 2014 - p. 595.
14. Олишевская В.Е. Сравнительный анализ технологий переработки автомобильных шин / В.Е. Олишевская, В.А. Федоскин, А.А. Цапля // Материалы международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014», Днепропетровск, Изд-во Государственного ВУЗ «Национальный горный университет», 2014. - С. 287-295.
15. Неваленова Т.В. Решение задачи утилизации отработавших автомобильных покрышек с использованием мобильной установки / Экспозиция Нефть Газ. 2015. № 4 (43). - С. 111-113.
16. Сипко В.В. Анализ мирового опыта использования инновационных методов утилизации автотранспортных шин / В.В. Сипко, Д.С. Кутищев // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2015. - С. 257-273.
17. Есипова О.В. Простое решение сложной проблемы - переработка и утилизация шин методом пиролиза / О.В. Есипова, М.И. Кричевский // Экономика, социология и право. 2015. № 2. - С. 26-30.
18. http://www.etalon-plus55.ru
19. Пат. № 2365553 РФ; МПК51 C04B 26/26, C04B 20/02, C08L 95/00; Асфальтобетон, содержащий механоактивированную резиновую крошку / Т.JI. Иванова. В.С. Прокопец // № 2008108049/03; заявл. 29.02.2008; опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24.

УДК 678.4:678.01

И. В. Николаев[1], Е.А. Рогачев[1], Е. П. Целых[2], Вал. И. Суриков[1]
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.
[2]Омский ФГУП «НПП «Прогресс», г. Омск, Россия.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ТУГОПЛАВКИХ ПОКРЫТИЙ НА РЕЗИНЕ

Аннотация. В работе анализируются структурные особенности покрытий на основе молибдена и тантала на резиновой подложке, полученных методом магнетронного распыления. Показано, что для одних и тех же параметров напыления профиль поверхности и структурные образования в виде кластеров молибденового и танталового покрытий существенно различаются. Экспериментально определен размер зерен, входящих в кластерные образования в зависимости от времени напыления.

Ключевые слова: резина, молибден, тантал, магнетронное распыление, покрытие, структура, кластер, зерно.

Одним из наиболее перспективных подходов создания резинотехнических изделий (РТИ) с высокими эксплуатационными свойствами является подход, основанный на модифицировании резин путем введения наполнителей-модификаторов или нанесения на поверхность резин покрытий на основе различных материалов. «Преимуществом поверхностного модифицирования является возможность обрабатывать уже готовые РТИ без изменения технологии их производства [1]». Одним из перспективных методов в этом направлении является ионно-плазменный метод напыления на поверхность резин нанодисперсных тугоплавких

металлов [2], что позволяет существенно улучшить эксплуатационные свойства РТИ, такие как износостойкость, физико-механические показатели, стойкость к агрессивным средам и высоким температурам и т.д.

«В качестве объектов исследования в данной работе были выбраны образцы из резины на основе каучуков бутадиен-нитрильного БНКС-28 АМН и хлоропренового Денка PS-40A, модифицированные молибденом и танталом путем нанесения покрытия методом магнетронного распыления на установке «ADVAVAC VSM-200». Ионную чистку поверхности подложки перед нанесением покрытия производили непосредственно в рабочей камере в среде аргона в течение 10 мин при мощности 100 Вт. Сам процесс напыления проводили также в аргоновой среде при давлении (3,3 ÷ 3,4) 10^{-1} Па. Оптимальное значение температуры подложки (80°С) были определены эмпирически» [3].

Детальное изучение структуры покрытий осуществляли методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на установке «JEOL JCM 5700».

Исследование особенностей структуры поверхностей исходной резины и модифицированной резины осуществляли при одних и тех же параметрах напыления за исключением времени напыления. На рис. 1 приведены РЭМ-изображения поверхности образца исходной резины, а на рис. 2, 3 - поверхности покрытий молибденом и танталом при времени напыления 15 мин и 34 мин, соответственно. Время напыления отличается приблизительно в 2 раза, т.к. изначально в эксперименте скорости напыления покрытий из молибдена и из тантала отличались также приблизительно в два раза (≈0,02 нм/с и ≈0,01 нм/с, соответственно).

Анализ РЭМ-изображений показал, что структура покрытий образцов существенно отличается от структуры исходного образца. Покрытия, как для молибдена, так и для тантала имеют кластерную структуру, однако разной геометрии: кластеры танталового покрытия в отличие от молибденового покрытия имеют более вытянутую форму в одном из направлений («эллипсоподобную» форму). Сами кластеры как в том, так и другом случаях имеют зернистую структуру.

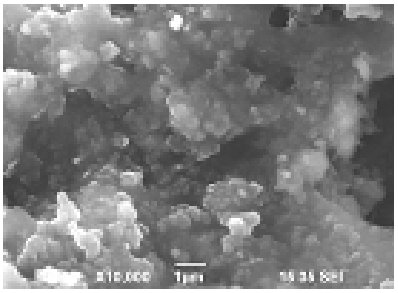


Рис. 1 РЭМ-изображение поверхности резинового образца до напыления.

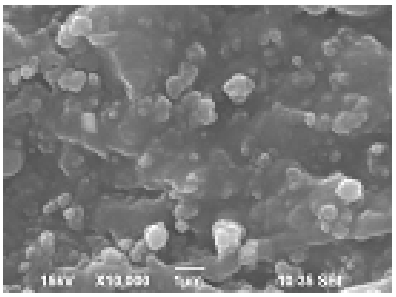


Рис. 2 РЭМ-изображение поверхности резинового образца после напыления металла Mo.

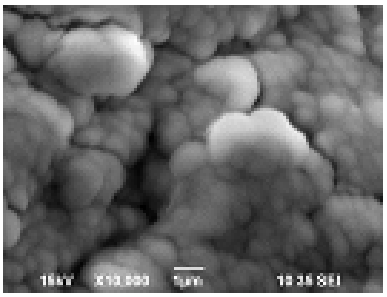


Рис. 3 РЭМ-изображение поверхности резинового образца после напыления металла Ta.

На рис. 4 показаны РЭМ-изображения образцов после напыления молибденом. На рис. 4а наблюдаются неравномерно распределенные выступы вдоль поверхности образца с молибденовым покрытием соизмеримые с выступами на поверхности исходной резины(от 300 нанометров до нескольких микрометров), что говорит о том, что наблюдаемые выступы являются не зернами молибдена, а являются неровностями поверхности исходной резины. Можно сделать вывод, что размер зерен после 15 минут напыления меньше 300 нм(меньше минимального размера выступа исходной резины).

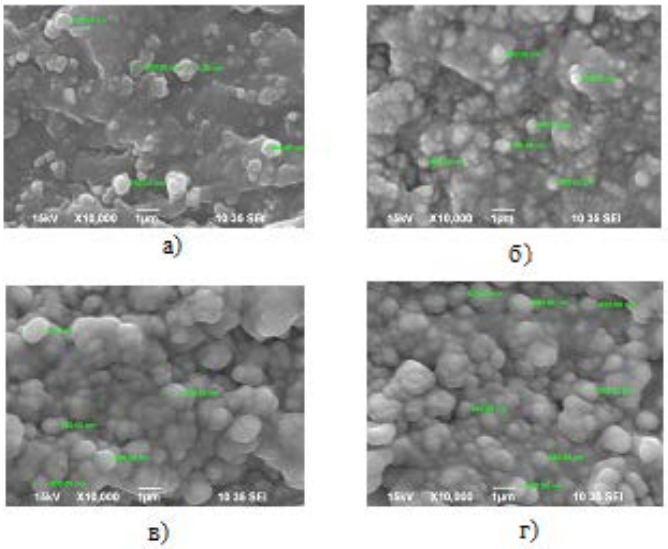


Рис. 4 РЭМ-изображение поверхности резинового образца
после напыления молибденом: а) 15 мин, б) 45 мин, в) 75 мин, г) 105 мин.

После 45 мин. напыления молибденом (рис. 4б) на поверхности наблюдаются выступы, которые являются зернами молибдена, т.к., во-первых, данные выступы равномерно распределены и, во-вторых, соизмеримы друг с другом – средний размер зерна 520 нм. Из рисунка 4в можно сделать вывод, что происходит рост зерен, т.к. средний размер зерна увеличивается до 880 нм. При напылении по времени больше 75 мин размер зёрен достигает размера, после которого начинается формирование и рост новых зёрен, т.к. при 105 мин. напыления молибденом (рис. 4г) видно, что количество зерен увеличивается, а средний размер зерен уменьшается до 785 нм.

На рис. 5 показаны РЭМ-изображения образцов после напыления тантала. Сравнивая рис. 1 и рис. 5а можно заметить, как сильно изменяется структура поверхности образца.

Как и при напылении молибдена, при напылении тантала происходит рост зёрен до размера(≈3 мкм), после которого начинается формирование и рост новых зерен (рис 5а, б). После 168 мин. напыления тантала на поверхности образца появляются трещины, и начинает формироваться «чешуйчатообразная» структура, о чём свидетельствует рис. 5г.

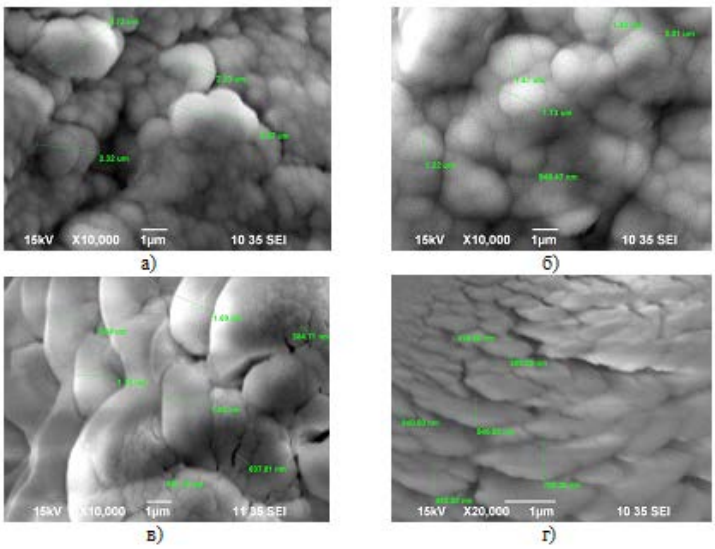


Рис. 5. РЭМ-изображение поверхности резинового образца после напыления танталом:
а) 34 мин, б) 100 мин, в) 168 мин, г) 233 мин.

На рис. 6 представлены зависимости средних значений размера зерен в зависимости от толщины напыления относительно стандартной химически не активной подложки в молибденовом и танталовом покрытиях (данную величину выдаёт датчик толщины напыления установки «ADVAVAC VSM-200»). На рис. 6 отсутствует данные среднего размера зерна после 15 минут напыления молибдена на поверхности резинового образца, т.к. зернистая структура молибдена не наблюдается. Как на рис. 4, 5, так и на рис. 6 видно, что происходит рост зёрен до размера, после которого начинается формирование и рост новых зёрен. Интересно отметить, что когда формируется большое количество зёрен тантала размером порядка 1,8 мкм, то образец начинается трескаться – образуются трещины на поверхности. При большем времени напыления тантала и, соответственно, при большей толщине напыления образуются «чешуйчатообразные» зёрна (рис. 5г), средний размер которых приблизительно составляет 500 нм (рис. 6).

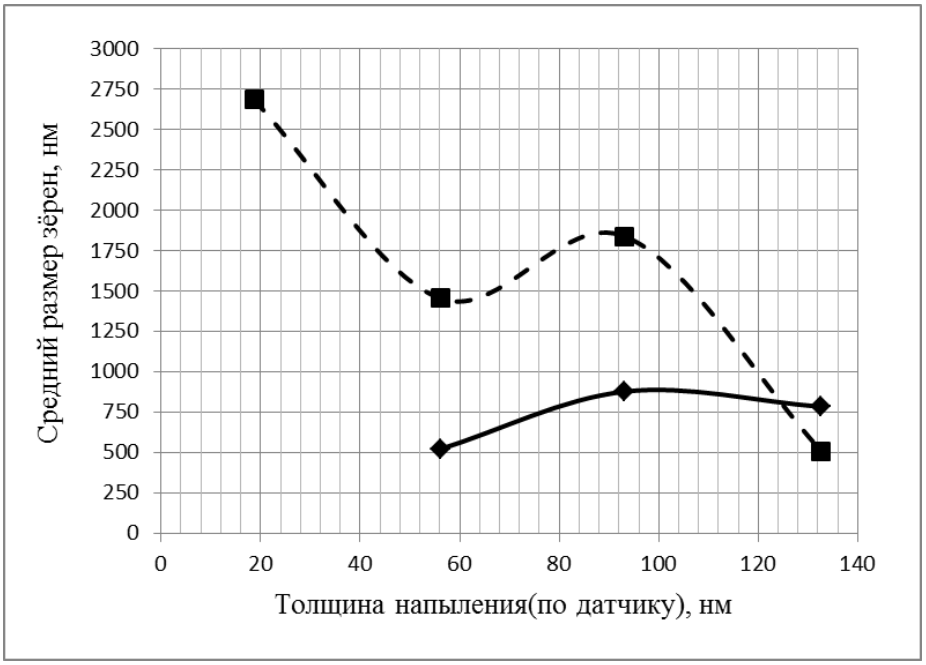


Рис. 6 Зависимость среднего размера зерен кластеров покрытий на основе молибдена (сплошная) и тантала (пунктирная) от толщины напыления относительно стандартной поверхности.

Анализируя в целом полученные экспериментальные результаты, можно констатировать, что и молибденовое и танталовое покрытие имеют свои структурные особенности, определяемые, по-видимому, особенностями взаимодействия ионов металлов с резиновой подложкой. Представляет интерес провести исследование влияние особенностей структуры покрытий, рассмотренных в данной работе, на эксплуатационные свойства РТИ.

Библиографический список

1. Поляков, П. В. Методы повышения работоспособности РТИ узлов трения, работающих в условиях эксплуатации, близких к экстремальным / П. В. Поляков, А. А. Душко: межвуз. сб. науч. тр. – Волгоград : ВолгГАСА, 2000. – 10 с.

2. Гринберг, П. Б. Технология нанесения наноструктурированных металлопокрытий на резинотехнические изделия / П. Б. Гринберг [и др.] // Вестник Омского университета. – 2012. – № 2 (64). – С. 249–252.

3. Целых Е.П. Улучшение триботехнических свойств резин путем поверхностного модифицирования тугоплавкими металлами / Е.П. Целых, Д.А. Полонянкин, Е.А. Рогачев, В.И. Суриков // Омский научный вестник– 2015. – № 1 (137). – С. 97 – 100.

УДК 621.891:678.7

А.С. Рубан
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПКМ НА ОСНОВЕ ПТФЭ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Аннотация. Повышение работоспособности подшипников и герметизирующих устройств связано с управлением структурой и фрикционными свойствами материалов металлополимерных пар трения при их изготовлении и в процессе эксплуатации. На основе экспериментальных данных и уравнений регрессии, отражающих зависимость температуры, скорости изнашивания и коэффициента трения от контактного давления и концентрации компонентов-модификаторов, предложена методика, позволяющая прогнозировать износостойкость ПКМ в зависимости от его состава и требований к узлу трения.

Ключевые слова: композиты, коэффициент трения**,** температура трения, износостойкость, трибосистема.

В зависимости от условий эксплуатации в различных узлах трения (подшипники, уплотнения, направляющие) требования к механическим и триботехническим свойствам полимерных композиционных материалов (ПКМ) могут значительно отличаться. Поэтому, для обеспечения длительной работоспособности узлов трения необходимо постоянно совершенствовать их конструкции, применяя новые износостойкие материалы. Перспективы повышения работоспособности подшипников и герметизирующих устройств в значительной мере связаны с управлением структурой и фрикционными свойствами материалов металлополимерных пар трения при изготовлении и в процессе эксплуатации. Разработка новых полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) является одним из эффективных путей решения данной задачи. ПТФЭ обладает уникальными антифрикционными свойствами, он имеет самый низкий среди известных полимеров коэффициент трения без смазочных материалов. Это объясняется малым значением поверхностной энергии и межмолекулярных связей и, как следствие, низким уровнем поверхностного натяжения и адгезионных свойств. В то же время, чистый ПТФЭ имеет низкую износостойкость, что существенно ограничивает область его применения в узлах трения машин. Анализ методов повышения триботехнических характеристик материалов показывает, получение материалов с заданными фрикционными свойствами возможно только на основе изучения общих закономерностей механизмов трения и изнашивания [1].

Необходимым условием для прогнозирования износостойкости материалов является изучение тепловых процессов, что дает возможность для управления технологическими параметрами с целью получения материалов с заданными свойствами, так как механические, физико-химические и эксплуатационные свойства материалов во многом определяются тепловым режимом воздействия или такими характеристиками, как величина максимально допустимой температуры в зоне трения, термический цикл скорости нагрева и охлаждения, градиенты температур.

Для исследования были выбраны образцы ПКМ, содержащие в качестве наполнителей скрытокристаллический графит (СКГ), марки ГЛС-3 (ГОСТ 5420-74) с размером кристаллов менее 0,2мкм, неупорядоченной ориентацией и удельной поверхностью частиц 55-70м^2/г в ультрадисперсном состоянии.

В соответствии с поставленной задачей для проведения экспериментальных исследований триботехнических свойств ПКМ и тепловых процессов была разработана комплексная установка с механическим приводом на базе настольного сверлильного станка, в рабочем узле которого реализуется торцовая схема трения палец-диск. В состав комплексной установки

входит тепловизионная автоматическая установка. Измерение момента силы трения осуществлялось малогабаритным потенциометрическим датчиком давления ДМП-6А. Методика испытания предусматривала подготовку образцов, заключающуюся в промывке рабочей поверхности контртела и полимерных образцов этиловым спиртом. Предварительно каждый комплект образцов перед началом испытаний подвергался приработке в течение 2…3 часов. Полимерные образцы перед началом испытаний, после приработки и каждого этапа испытаний протирались салфеткой смоченной в этиловом спирте. Каждый образец был испытан не менее трех раз в течение 3 часов при заданных скорости скольжения и контактном давлении. После каждого испытания образцы протирались, сушились и взвешивались на микроаналитических весах ВЛР с погрешностью не более 0,12мг. В процессе испытания каждые 10 минут измерялись момент силы трения и температура в зоне трения [2].

Для оценки совместного влияния давления P и концентрации наполнителя (С,%масс.) на свойства материалов были использованы математические методы планирования эксперимента. Параметрами оптимизации в данном случае являлись температура в зоне трения T, скорость изнашивания J и коэффициент трения f.

Условия проведения эксперимента, уровни варьирования, выбраны с учетом результатов предварительных исследований [2,3]. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия проведения опытов и результаты испытаний

№ опыта	Концентрация наполнителя (%СКГ), x_1	Давление, x_2 ,МПа	Температура, y_1 , К	Скорость изнашивания $y_2 \cdot 10^{-4}$,г/ч	Коэффициент трения, y_3
1	5	1,5	498	6,611	0,19
2	5	2,0	531	6,944	0,16
3	5	2,5	563	7,210	0,14
4	10	1,5	532	4,388	0,24
5	10	2,0	564	4,720	0,21
6	10	2,5	588	5,124	0,20
7	15	1,5	551	3,889	0,27
8	15	2,0	582	5,666	0,22
9	15	2,5	603	6,485	0,21

Математической моделью зависимости температуры в зоне трения T, скорости изнашивания J и коэффициента трения f принят полином первой степени:

$$y_1 = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2;$$

$$y_2 = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2; \qquad (1)$$

$$y_3 = d_0 + d_1 x_1 + d_2 x_2$$

где x_1, x_2 - кодовые значения факторов концентрации наполнителя и давления соответственно; y_1, y_2, y_3 - натуральные значения температуры в зоне трения T, скорости изнашивания J и коэффициента трения f.

После расчета коэффициентов регрессии для функций отклика и проверки статистической значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента, получены следующие уравнения регрессии для функций y_1, y_2, y_3 в натуральных значениях внешних факторов.

Уравнение регрессии для температуры y_1 имеет вид:

$$y_1 = 556{,}9 + 16{,}0\, x_1 + 19{,}2\, x_2, \text{К}. \qquad (2)$$

Для скорости изнашивания:

$$y_2 = 5{,}671 - 0{,}539\, x_1 + 0{,}437\, x_2, 10^{-4} \text{ г/ч}. \qquad (3)$$

Для коэффициента трения:

$$y_3 = 0{,}204 + 0{,}023\, x_1 - 0{,}017\, x_2. \qquad (4)$$

Проверка полученных уравнений по F-критерию показала, что они адекватно описывают зависимости температуры T в зоне трения, скорости изнашивания J и коэффициента трения f от концентрации наполнителя (С,%масс.) и давления P.

Анализ уравнений регрессии (2)- (4) показывает, что на увеличение температуры в зоне трения оказывает влияние как увеличение концентрации наполнителя, так и повышение контактного давления. Увеличение концентрации наполнителей приводит к снижению скорости изнашивания ПКМ, но при этом увеличивается коэффициент трения. Рост давления, напротив, вызывает увеличение скорости изнашивания и уменьшению коэффициента трения. Наблюдаемое изменение характеристик триботехнических свойств связано с изменением механических свойств поверхностного слоя полимерных образцов вследствие повышения температуры и структурно-фазовых превращений в тонком поверхностном слое. Это обусловлено тем, что введение ультрадисперсного СКГ инициирует развитие процессов формирования надмолекулярной структуры в условиях сближения частиц ультра дисперсного графита с молекулами ПТФЭ при прессовании композиции, а также активации процессов адсорбции сегментов макромолекул на активных центрах наполнителя, приводящей к уменьшению их подвижности [4,5].

При проектировании узлов трения одной из основных проблем является оптимальный выбор состава ПКМ, для чего требуется проведение длительных испытаний, поскольку теоретические методы прогнозирования износостойкости ПКМ не разработаны. Поэтому эффективным направлением при исследовании процессов изнашивания является использование экспериментально-статистических методов. С целью решения этой задачи и упрощения данного этапа исследований предлагается из уравнения регрессии (4) выразить фактор величины давления x_2:

$$x_2 = \frac{-y_3 + 0{,}187 + 0{,}014 x_1}{0{,}022},$$

где x_1-кодовое значение фактора концентрации наполнителя, $\overline{y_3}$ - усредненное значение коэффициента трения в натуральных величинах.

Подставив полученное выражение для фактора x_2 в уравнения (2) и (3), получим уравнения регрессии в виде:

$$y_1 = 720{,}1 + 28{,}2\, x_1 - 872{,}7\, y_3, \text{К}. \quad (5)$$

$$y_2 = 9{,}385 - 0{,}261\, x_1 - 19{,}864\, y_3, 10^{-4}\text{г/ч}. \quad (6)$$

где y_1, y_2 - натуральные значения температуры в зоне трения T и скорости изнашивания J.

Полученные уравнения позволяют оценить скорость изнашивания и температуру в зоне контакта путем проведения испытаний, в которых, достаточным условием является стабильное значение коэффициента трения. При сравнении расчетных данных по выражениям (5), (6) и экспериментальных значений расхождение составляет не более 10%.

На основании анализа совместного влияния концентрации наполнителя и давления на температуру и триботехнические характеристики металлополимерной пары трения предлагается следующая методика, которая позволяет прогнозировать износостойкость ПКМ в зависимости от его состава и требований к узлу трения.

Методика включает несколько этапов [6]:

1. Проведение факторного эксперимента в лабораторных условиях, согласно разработанной ранее методике [2]. Параметрами варьирования являются концентрация наполнителя x_1 и контактное давление x_2.

2. Получение уравнений регрессии вида (2)-(4) по результатам проведенных испытаний.

3. Составляем систему уравнений, в которых варьируемым параметром выступает только концентрация наполнителя x_1. С данной целью из уравнения регрессии (4) для коэффициента трения выражаем фактор x_2, определяющий контактное давление, и подстановляем в уравнения (2) и (3). Значение коэффициента трения, входящего в данные уравнения, для различных концентраций наполнителя определяем путем проведения краткосрочных испытаний, в которых необходимым условием является стабильное значение коэффициента трения.

Таким образом, согласно данной методике, при изменении концентрации наполнителя, можно получать ПКМ с требуемой износостойкостью, что позволяет прогнозировать ресурс металлополимерной трибосистемы в зависимости от условий эксплуатации.

Библиографический список

1. Машков Ю.К. Полимерные композиционные материалы в триботехнике./ Машков Ю.К., Овчар З.Н., Байбарацкая М.Ю., Мамаев О.А.- М.: ООО ”Недра - Бизнесцентр”,2004.-262с.

2. Машков Ю.К. Исследование механических и триботехнических свойств ПКМ и структуры в зависимости от тепловых процессов в условиях трения/ Машков Ю.К., Рубан А.С., Грязнов Б.Т., Байбарацкий А.А.// Омский научный вестник.- 2009.- Вып.2(80).-С.54-57.

3. Мамаев О.А. Исследование тепловых процессов и триботехнических свойств несмазываемых металлополимерных трибоситем/ Мамаев О.А., Машков Ю.К., Рубан А.С.// Трение и смазка в машинах и механизмах.-2008.-№4-С.3-6.

4. Рубан А.С. Влияние температуры на триботехнические свойства и структурно-фазовые превращения ПКМ на основе ПТФЭ/ Рубан А.С., Грязнов Б.Т.// Материалы 63-й научно-технической конференции ГОУ «СибАДИ». - Омск: СибАДИ, 2009. -Книга 1. -428с.

5. Машков Ю.К. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация./ Ю.К.Машков [и др.] - М.:Машиностроение, 2005.-240с.

6. Рубан А.С. Методика прогнозирования износостойкости ПКМ на этапе разработки композиционного материала для металлополимерного узла трения/ Рубан А.С. // Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных тер-

риторий Сибири и Арктики: вклад науки: Материалы научно-практ. Конференции [Электронный ресурс]. –Электрон.дан.-Омск: СибАДИ, 2014. -Книга 3. -390с.-режим доступа: http://bek.sibadi.org/fulltextEPD994.pdf.

УДК 620.22:62-976+538.91

Н. А. Семенюк, Д. П. Коршакова, Ю. И. Кузнецова[1], В. И. Суриков, О. В. Лях
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.
[1]ОАО «Сургутнефтегаз», г. Сургут, Россия.

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ $V_{1-x}Fe_xO_2$

Аннотация. Исследовано изменение объема элементарной ячейки $V_{1-X}Fe_XO_2$ с изменением состава образца и его температуры. Проведен сравнительный анализ изменения параметров элементарной ячейки для чистого диоксида ванадия и для образцов, содержащих примеси железа при фазовом переходе металл – полупроводник.

Ключевые слова: фазовый переход, диоксид ванадия, элементарная ячейка.

Ряд соединений 3d-, 4d- и 5f- элементов под воздействием температуры и давления проявляют фазовые переходы металл – полупроводник (ФПМП), не изменяя при этом своего агрегатного состояния. Ниже температуры перехода материал является полупроводником, выше – проявляет металлические свойства. При переходе претерпевают изменения структурные, электрические, магнитные, теплофизические, оптические и др. свойства образцов, что находит применение в технике.

Фазовыми переходами металл-полупроводник обладают диоксид ванадия и твердые растворы на его основе. Благодаря сравнительно простой технологии получения и достаточно удобными для практического применения температурами перехода $T_{мп}$ (~340 К и выше), соединения на основе диоксида ванадия используются чаще других соединений. Эти материалы применяют для изготовления ограничителей пусковых токов в устройствах электротехники и электроники, изготовлении терморезисторов, термореле, устройств автоматического контроля. Структура и свойства твердых растворов и соединений на основе диоксида ванадия зависят от множества факторов, как технологических, так и физико-химических.

Большая проблема в практическом использовании диоксида ванадия может возникнуть из-за его механической деградации, связанной со структурной перестройкой при ФПМП. Как известно, объем элементарной ячейки VO_2 при фазовом переходе значительно изменяется [1], что обуславливает возникновение значительных внутренних механических напряжений и может приводить к механическому разрушению образца.

Целью настоящей работы является проследить изменение объема элементарной ячейки $V_{1-x}Fe_xO_2$ с изменением состава образца и его температуры.

Образцы для исследований готовились методом твердофазного спекания необходимых количеств V_2O_5, V_2O_3 и Fe_2O_3 при соответствующем температурном режиме в эвакуированных кварцевых ампулах и были предоставлены нам для исследований Ярош Э.М. [2]. Рентгеноструктурные исследования выполнялись на установках Shimadzu Maxima_X XRD-7000 и ДРОН 4М (высокотемпературной приставке). Использовалось Cu-$K_{\acute{\alpha}}$ – излучение (λ = 1,54056 Å) в диапазоне углов 0-40 градусов. Каждая рентгенограмма была получена дважды и рассчитана по методике [3]. По ним строились штрихдиаграммы (рис. 1), вертикальные линии которых соответствуют положению и относительной интенсивности рефлексов. Линии, принадлежащие рефлексу (011), повторяются у всех образцов, для всех образцов представляют из себя дуплет. Линия рефлекса (211) так же прослеживается у всех образцов с небольшими изменениями интенсивности. Плоскости рефлексов (220) и (022) отсутствуют у $V_{0,91}Fe_{0,09}O_2$.

Линия, принадлежащая рефлексу (202), видна у образцов с x = 0,00; 0,01; 0,03. Интенсивность линий I оценивалась визуально, самой интенсивной линии приписывался индекс 1. Полученные нами данные хорошо согласуются с результатами работы [2].

Сравнивая экспериментальные и литературные данные о межплоскостных расстояниях двуокиси ванадия, можно сделать вывод, что все исследуемые образцы действительно принадлежат структуре VO_2.

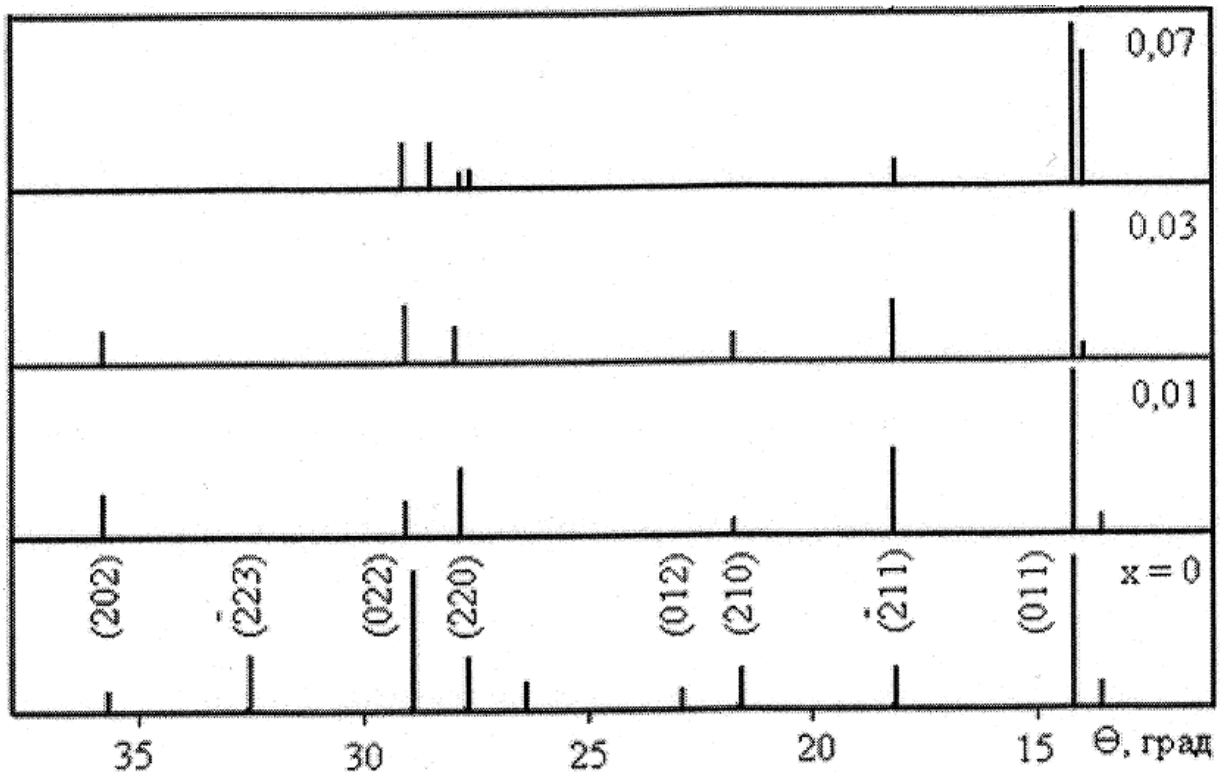


Рис.1 Штрихдиаграммы соединений $V_{1-x}Fe_xO_2$

В табл. 1 приведены параметры кристаллической решетки исследованных образцов, расчет которых проводился в соответствии с [3].

Таблица1

Параметры кристаллической решетки твердых растворов $V_{1-x}Fe_xO_2$ при температуре 20 ^{0} С.

Образец	a, Å	b, Å	c, Å	β, °
VO_2	6,07	4,52	5,67	126,9
$V_{0,99}Fe_{0,01}O_2$	5,71	4,51	5,34	122,1
$V_{0,97}Fe_{0,03}O_2$	5,61	4,50	5,22	121,4
$V_{0,93}Fe_{0,07}O_2$	5,70	4,46	5,20	120,4

Как видно из полученных данных, параметр решетки “a” при x = 0,03 принимает минимальное значение, равное 5,61Å. С увеличением x “a” возрастает. Параметр “b” с увеличением процентного содержания примеси железа в образцах монотонно уменьшается.

Параметр решетки “c” также уменьшается с ростом x, а “β” имеет наибольшее значение для чистой двуокиси и слабо реагирует на изменение концентрации легирующего элемента.

В табл. 2 приведены значения параметров кристаллической решетки твердых растворов $V_{1-x}Fe_xO_2$ при различных температурах. Здесь же приведены значения объема элементарной ячейки, который определялся с помощью параметров.

Таблица 2

Параметры кристаллической решетки твердых растворов $V_{1-x}Fe_xO_2$ при различных температурах.

Образец	T,K	a, Å	b, Å	c. Å	β, град	V, Å^3
1	2	3	4	5	6	7
VO_2	305	6,10	4,52	5,65	125,9	126,2
	325	6,10	4,53	5,66	126,2	126,2
	335	6,10	4,52	5,67	126,0	126,5
	345	6,09	4,52	5,66	125,8	126,4
	355	6,09	4,51	5,65	127,0	124,4
	375	6,10	4,51	5,67	127,2	124,2
1	2	3	4	5	6	7
$V_{0,99}Fe_{0,01}O_2$	305	5,55	4,52	5,25	121,7	112,1
	325	5,63	4,52	5,34	122,1	115,1
	335	5,61	4,54	5,27	121,2	114,8
	345	4,49		2,86		115,4
	355	4,51		2,85		116,0
	375	4,53		2,84		116,6
$V_{0,97}Fe_{0,03}O_2$	305	5,61	4,48	5,20	121,2	111,8
	325	5,61	4,50	5,30	121,9	113,6
	335	5,57	4,51	5,23	121,5	112,0
	345	4,50		2,84		115,0
	355	4,50		2,83		114,6
	375	4,51		2,83		115,2
$V_{0,93}Fe_{0,07}O_2$	305	5,72	4,46	5,20	120,4	114,4
	325	5,75	4,45	5,21	121,0	114,3
	335	5,70	4,52	5,21	121,0	115,1
	345	4,59		2,84		121,5
	355	4,55		2,85		118,0
	375	4,55		2,85		118,0

При расчете рентгенограмм принималось во внимание, что ниже температуры фазового перехода структура $V_{1-x}Fe_xO_2$ является моноклинной, а выше моноклинная решетка переходит в тетрагональную (за исключением VO_2). При определении объема элементарных ячеек принималось во внимание удвоение периода ячейки выше температуры фазового перехода [1].

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что в результате ФПМП объем элементарной ячейки $V_{1-x}Fe_xO_2$ скачком изменяется от ~2% для чистого VO_2 до ~5% для $V_{0,93}Fe_{0,07}O_2$. Исключение составляет образец $V_{0,99}Fe_{0,01}O_2$, у которого объем элементарной ячейки с повышением температуры практически плавно увеличивается.

Обращает на себя внимание различный характер изменения объема элементарной ячейки при ФПМП. Если для чистого диоксида ванадия объем ячейки уменьшается, то для образцов содержащих железо – увеличивается. Таким образом, с учетом старения $V_{1-x}Fe_xO_2$ [5], в качестве материала для изготовления датчиков температуры целесообразнее всего использовать $V_{0,99}Fe_{0,01}O_2$.

Библиографический список

1. Мотт Н.Ф. Переходы металл-изолятор. - М.: Наука, 1979. - 342 с.
2. Ярош Э.М. Структура и физические свойства соединений $V_{1-x}Fe_xO_2$ и FeV_2O_6: Автореф.дис. …. канд.физ.-мат.наук. – Свердловск, 1987. – 165 с.
3. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. – М.: Из-во физ.-мат.лит-ры, 1961. – 850 с.

4. Горелик С.Е., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электроннооптический анализ. Приложение. - М.: Металлургия, 1970. – 107 с.
5. Суриков В.И., Кузнецова Ю.В., Ярош Э.М. Старение легированного диоксида ванадия в естественных условиях.// Материаловедение. – 2008. – №11. – С. 37 – 39.

УДК 655.346

С.Н. Литунов, Ю.Д. Тощакова
Омский государственный технический университет, Омск, Россия.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ НАКАТНЫХ ВАЛИКОВ КРАСОЧНОГО АППАРАТА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАЮЩЕЙ ГРУППЫ

Аннотация. Рассмотрена проблема неполного перемешивания краски в красочном ящике офсетной печатной машины. Проведены эксперименты по определению температуры печатной краски. Получены зависимости температуры краски. По результатам эксперимента сделан вывод о влиянии активатора на температуру накатной группы.

Ключевые слова: красочный ящик, офсетная печать, температура, тепловизор, активатор.

Введение. При печати офсетным способом большое влияние на качество оттиска оказывает работа красочного аппарата. Одним из условий получения стабильной печати является стабильная подача краски питающей группой красочного аппарата. В печатных машинах существует проблема неполного перемешивания краски в красочном ящике, что является следствием её структурирования [1].

Рис. 1 Структурирование краски в красочном ящике

Ранее были проведены исследования по определению степени структурированности краски в красочном ящике офсетной печатной машины. Было определено, что в красочном ящике структурируется более 20 % всего объема краски [2, 3]. Для устранения структурирования краски применяют перемешивание вручную и с помощью механических устройств. Ручное перемешивание увеличивает нагрузку на печатника. Механические устройства представляют собой мешалки с вешним приводом, помещаемые непосредственно в красочный аппарат. Недостатками таких устройств является необходимость использования внешнего источника энергии и системы управления, сложность и высокая стоимость.

Для улучшения перемешивания краски предложены активаторы, работающие за счет сил вязкого трения краски, и не требующие применения внешнего привода [4–9]. Наиболее простым и технологичным является активатор в виде гладкого стержня [10]. При работе активатор, погруженный в краску, начинает вращаться вместе с ней, образуя дополнительные течения и препятствуя этим образованию структуры в краске. Можно предположить, что при применении активатора температура краски в красочном ящике будет выше, чем без активатора, так как погруженный в краску активатор, не только разрушает структуру, но и увеличивает скорость течения краски. Таким образом, температура краски может быть принята основным технологическим параметром перемешивания при использовании активаторов.

Температура краски в красочном ящике оказывает влияние на температуру, как питающей, так и раскатной группах. Известно, что при работе печатной машины температура накатной группы выше температуры питающей группы [11]. При этом необходимо экспериментально выяснить, какое влияние оказывает активатор на температуру накатной группы.

Целью эксперимента является изучить влияние активатора на температуру накатных валиков.

Определение зависимости температуры накатных валиков от температуры питающей группы красочного аппарата.

Эксперимент проводили, используя офсетную печатную машину Heidelberg GTO 52. Известно, что температура краски в красочном аппарате сначала растет, а затем становится постоянной для данных условий (вязкости краски, скорости работы печатной машины и др.) [11]. С целью более быстрого достижения постоянной температуры была выбрана максимальная скорость машины 7,2 тыс. об/час. Эксперимент проводили при использовании активатора и без него. Количество краски в красочном ящике выбирали из условия, что минимальное количество краски дает максимальное повышение температуры – 100 г, а диаметр активатора выбирали исходя из количества краски – 10 мм. Для исследования применяли наиболее вязкую из испытуемых офсетную печатную краску: красную смесевую PANTONE Red 032 («Sun Chemical», США). Для измерения температуры краски бесконтактным способом использовали первый валик накатной группы, поскольку через первый валик машин Heidelberg на печатную форму передается наибольшее количество краски[11], что увеличивает точность измерений. Эксперимент проводили в следующей последовательности.

1 Заполняли красочный ящик краской.

2 С помощью прибора ИТП-11 измеряли температуру краски в красочном ящике, с помощью тепловизора FLIR E60 проводили измерения температуры краски на первом валике раскатной группы, до тех пор, пока температура не становилась постоянной (рис.2).

3 Проводили две серии экспериментов: с активатором и без него.

4 Результаты измерений обрабатывали с помощью ЭВМ.

Рис. 2 Измерения температуры
а – тепловизором; б – прибором ИТП-11

Результаты, обсуждение. Зависимости, полученные в результате экспериментов, позволяют провести лишь качественный анализ, так как, при проведении экспериментов не была учтена теплопроводность, теплоемкость испытуемых красок, размеры красочного ящика, частота вращения дукторного цилиндра.

На рисунке 3 показаны результаты измерений температуры первого накатного валика.

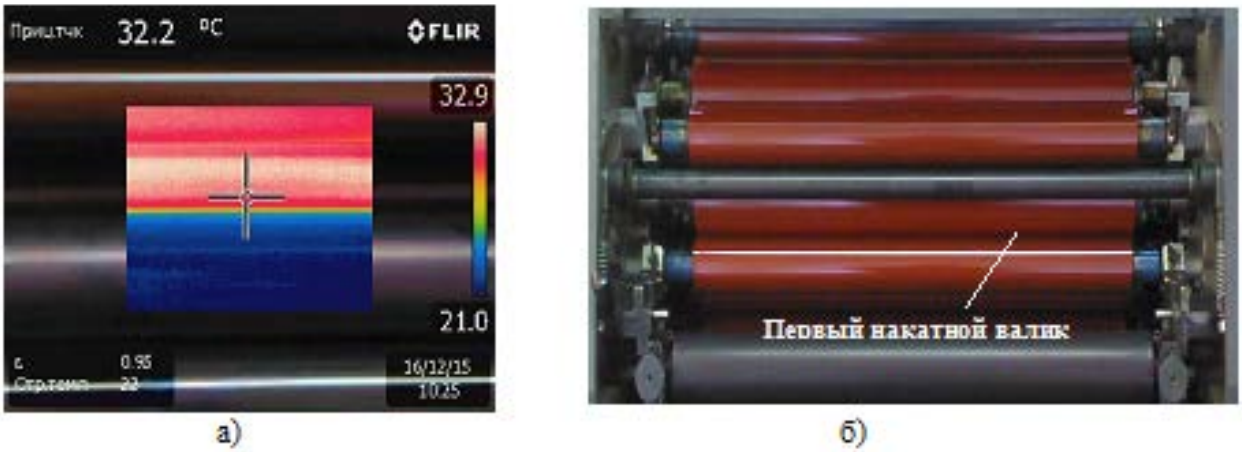


Рис.3. Результаты измерений температуры первого накатного валика а – красочный аппарат (вид спереди): б – распределение температуры в поле измерений

На рисунке 3 б показан текущий результат измерений. На дисплее прибора указывается выходные данные измерений. Температура накатного валика неодинакова, поэтому, измерения температуры проводили в одной и той же точке его поверхности. По результатам измерений построен график, показанный на рис. 4.

Из рисунка видно, что температура растет до некоторой величины T_{const} и далее остается постоянной для данных условий.

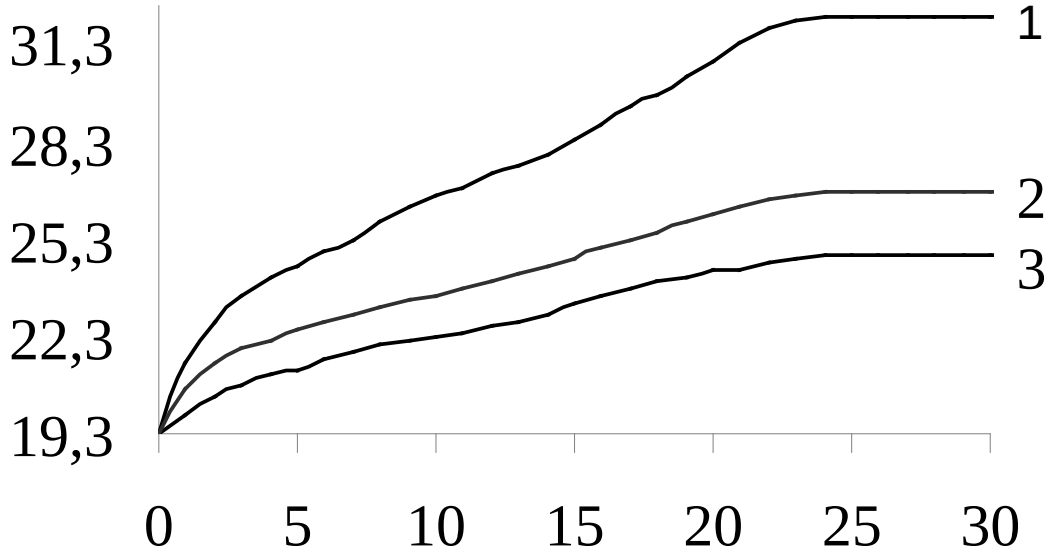


Рис. 4 Зависимость температуры краски в красочном ящике от времени:
1 – первого накатного валика; температура краски в красочном аппарате: 2 – с применением активатора диаметром 10 мм; 3 – без применения активатора

Время достижения T_{const} составляет 23 мин без активатора, и с активатором. При этом максимальная температура краски составляет 25 ºС, 27 ºС соответственно. Время достижения T_{const} в раскатной группе составляет 23 мин, максимальная температура 32,2 ºС Температура первого накатного валика при использовании активатора и без него отличалась на величину ±0,1 ºС, что не выходит за пределы погрешности измерений. Это позволяет сделать вывод о том, что использование активатора не сказывается на температуре накатной группы, и не влияет на нанесение краски на оттиск.

Выводы. Температура в красочном ящике может служить критерием качества ее перемешивания. Применение активатора увеличивает температуру краски в красочном ящике и улучшает ее перемешивание. Увеличение температуры краски в питающей группе красочного аппарата при использовании активатора по сравнению с температурой краски без активатора, не оказывает существенного влияния на температуру накатной группы красочного аппарата.

Библиографический список

1. Технология печатных процессов [Текст] / А. Н. Раскин [и др.]. – М. : Книга, 1989. – 432 с.
2. Литунов, С. Н. Натурный эксперимент по определению квазитвердого тела в красочном ящике офсетной машины [Текст] / С. Н. Литунов, Ю. Д. Тощакова // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2015. – № 1. – С. 36–42.
3. Литунов, С. Н. О влиянии касательных напряжений на перемешивание краски [Текст] / С. Н. Литунов, О. А. Тимощенко // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2014. – № 3 (133). – С. 246–250.
4. Пат. 142412 Российская Федерация, МПК B 41 F 31/00. Красочный аппарат / Литунов С. Н., Тимощенко О. А. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. – № 2013154370/12 ; заявл. 06.12.2013 ; опубл. 27.06.2014, Бюл. № 18. – 1 с.
5. Пат. 141599. Российская Федерация, МПК B 41 F 31/00. Красочный аппарат / Литунов С. Н., Тимощенко О. А. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. – № 2013153443/12 ; заявл. 02.12.2013 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16. – 2 с.
6. Пат. 122334 Российская Федерация, МПК B 41 F 31/00. Красочный аппарат / Литунов С. Н., Пруд И. В., Титов Ю. В. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. тех. ун-т. – № 2012128620/12 ; заявл. 06.07.12 ; опубл. 27.11.12, Бюл. № 33.
7. Пат. 127680 Российская Федерация, МПК B 41 F 31/00. Красочный аппарат / Литунов С. Н., Титов Ю. В., Титов А. В., Пруд И. В. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. тех. ун-т. – № 2012128620/12 ; заявл. 20.11.12 ; опубл. 10.05.13, Бюл. № 13.
8. Пат. 139108 Российская Федерация, МПК B 41 F 31/00. Красочный аппарат / Литунов, С. Н., Тимощенко О. А. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. тех. ун-т. – № 2012128620/12 ; заявл. 19.11.2013 ; опубл. 10.04.2014. Бюл. №. 10.
9. Пат. 129047 Российская Федерация, МПК B 41 F 31/00. Красочный аппарат / Литунов, С. Н., Тимощенко О. А. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. тех. ун-т. – № 2012128620/12 ; заявл. 19.12.12 ; опубл. 20.06.13, Бюл. № 17.
10. Заявка 2012123203/12 Российская Федерация, МПК B41F 31/00. красочный аппарат / Литунов С. Н., Пруд И. В., Заживихина Н. А. ; заявитель Омский гос. тех. ун-т . – № 2012123203/12 ; заявл. 05.06.2012 ; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.
11. В. И. Штоляков, А. Ф. Федосеев, Л. Ф. Зирнзак, И. А. Егоров, С. П. Вартанян, Э. С. Артыков. Печатные системы фирмы Heidelberg. Офсетные печатные машины: Учебное пособие. М.: из-во МГУП , 1999. – 216 с..

УДК 621.317.79

И.С.Бетке, А.И.Щелканов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

МАТРИЦЫ ЭЛЕМЕНТОВ ХОЛЛА КАК ОСНОВА ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрено применение матриц элементов Холла в виде интегрированного крестообразного массива для построения на их основе прецизионных измерительных преобразователей линейных перемещений.

Ключевые слова: измерительный преобразователь линейного перемещения, абсолютный энкодер, инкрементальный энкодер, датчик Холла, цифровая обработка сигнала, аналого-цифровой преобразователь

Эффект Холла возникает в кристалле полупроводника под действием магнитного поля и заключается в появлении перпендикулярно направлению тока **I** и магнитного поля **B** так называемой э.д.с. Холла (рис.1.). Значение э.д.с. является линейной функцией магнитной индукции поля, а причиной эффекта Холла является отклонение заряженных частиц, движущихся в магнитном поле, под действием силы Лоренца [1].

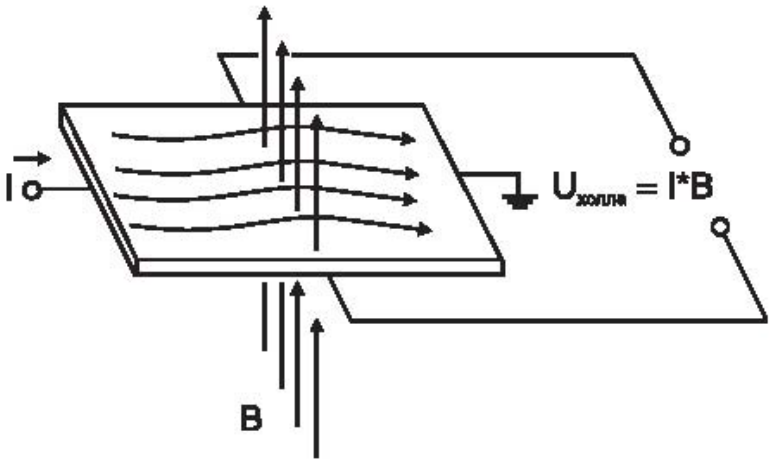


Рис.1 Эффект Холла

Одной из ведущих фирм в области разработки и производства программируемых первичных измерительных преобразователей на основе эффекта Холла является австрийская компания Austriamicrosystems, располагающая весьма широкой номенклатурой интегральных схем (ИС) Холла. Эти ИС отличаются друг от друга принципом кодирования (абсолютные и инкрементальные энкодеры), разрешающей способностью (от 8 бит до 14 бит), областью применения и температурной группой (большинство ИС предлагаются для диапазона –40...+150 °С), типом выхода (аналоговый, ШИМ, цифровые интерфейсы).

Базовые ИС AS5040, AS5043, AS5030, AS5035 — представляют собой магнитные угловые энкодеры из семейства AS50xy с возможностью работы в температурном диапазоне –40...+125 °С. AS5030 и AS5035 — это 8-битные недорогие устройства: AS5030 — абсолютный энкодер, а AS5035 — инкрементальный. AS5040, AS5043 представляют собой 10-битные угловые энкодеры с возможностью абсолютных измерений, отличающиеся типом выходного сигнала: абсолютный выход AS5040 доступен в формате ШИМ и SSI, абсолютный выход AS5043 — аналоговый. Но AS5043 — абсолютный энкодер, в отличие от AS5040,

являющейся универсальной микросхемой: кроме абсолютных доступны инкрементальные интерфейсы (квадратурный и индексный сигналы, тахометрический сигнал с опциями индикации направления и индексации, сигналы коммутации бесколлекторных двигателей). AS5045 и AS5046 — это 12-битные абсолютные устройства с цифровым выходом (AS5045) и двухпроводным последовательным или аналоговым интерфейсом (AS5046) [2].

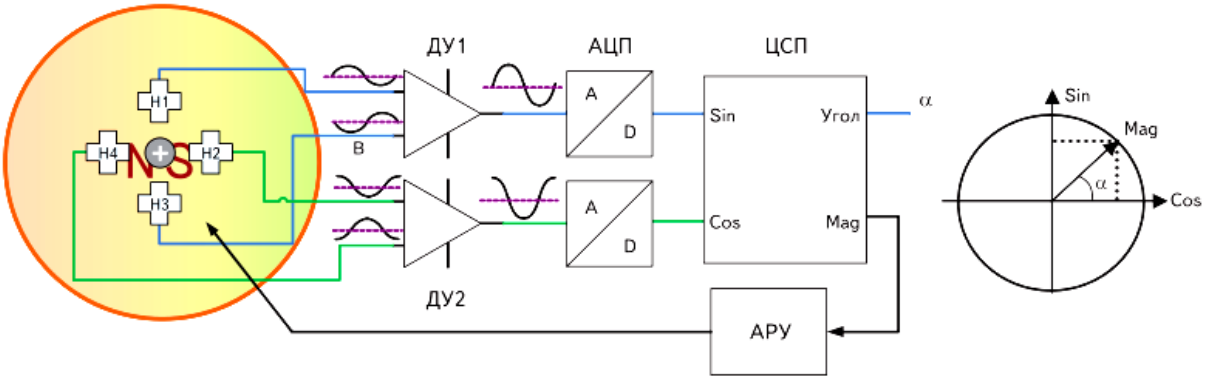


Рис. 2 Структурная схема датчика на эффекте Холла серии AS5000

На рис. 2. представлена типичная структурная схема датчика производства austriamicrosystems. Интегрированный крестообразный массив из четырех датчиков Холла H1–H4 со специальным методом устранения смещения, известным как «spinning current», производит электрическое отображение магнитного поля, перпендикулярного поверхности ИС. На основе четырех первичных аналоговых рабочих сигналов, пропорциональных перпендикулярным компонентам магнитного поля, формируются два синусно-косинусных сигнала, являющихся функциями угла поворота вектора параллельного магнитного поля. Сигма-дельта АЦП и блок цифровой обработки сигнала (ЦОС) обеспечивают высокоточный расчет углового положения магнита относительно ИС (угла поворота магнитного вектора, параллельного поверхности ИС), с применением функции арктангенса и алгоритма CORDIC (Coordinate Rotation Digital Computer), а также величин сигналов элементов Холла. CORDIC-алгоритм используется в ЦОС ИС энкодеров для вычисления величин сигналов элементов Холла и абсолютного значения угла и представляет собой именно итеративный метод для вычисления арктангенса. Затем полученное цифровое значение переводится в аналоговый или ШИМ-сигнал.

Электрический сигнал от датчиков Холла, пропорциональный величине магнитного поля, поступает на дифференциальные усилители ДУ1 (датчики H1 и H3) и ДУ2 (датчики H2 и H4). Сигналы с датчиков H1 и H3 определяют вектор синуса (sin), а сигнал с датчиков H2 и H4 — вектор косинуса (cos). Сигнал оцифровывается и поступает на цифровой сигнальный процессор (ЦСП), в котором по векторам sin и cos производится расчет абсолютного угла поворота (α) и величины магнитного поля (Mag) по формулам:

$$H1 = A \sin(\alpha),$$
$$H2 = A \sin(\alpha+90°) = A \cos(\alpha),$$
$$H3 = A \sin(\alpha+180°) = A -\sin(\alpha),$$
$$H4 = A \sin(\alpha+270°) = A -\cos(\alpha),$$

где H1, H2, H3 и H4 — датчики Холла; A — амплитуда сигнала с датчиков Холла; $\varphi=\arctan((H1–H3)/(H2–H4))$.

Модуль автоматической регулировки усиления (АРУ) позволяет компенсировать изменение величины сигнала с датчиков Холла H1–H4 при изменении величины магнитной индукции вследствие изменения температуры или расстояния между магнитом и микросхемой [4].

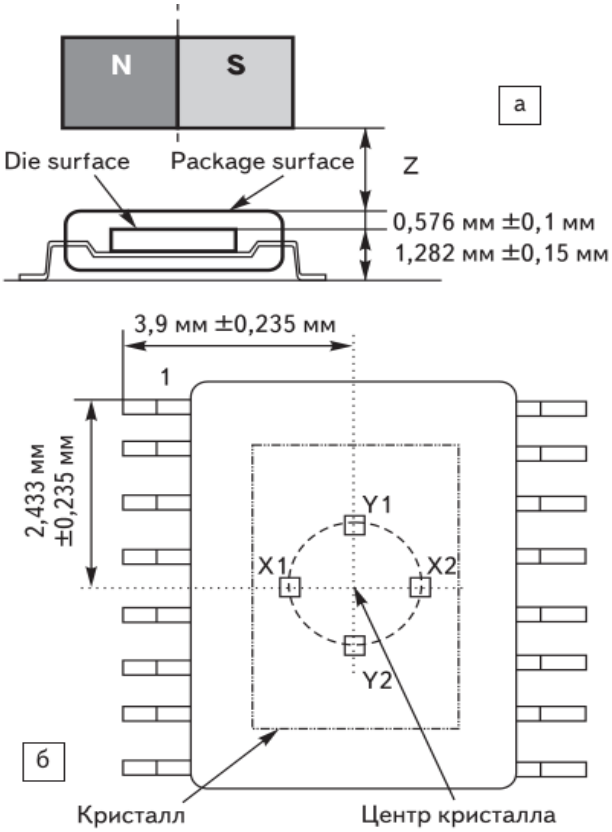


Рис.3 Расположение магнита над корпусом микросхемы (а).
Определение точки центрирования микросхемы (б)

Для работы датчика угла поворота необходимо использовать диаметрально поляризованный магнит. Одним из требований к магниту является его диаметр. При использовании магнита с маленьким диаметром (3–6 мм) дифференциальный сигнал с датчиков Холла H1–H3 и H2–H4 будет большой амплитуды, это позволит разместить магнит на большом расстоянии от микросхемы, однако требования к точности позиционирования при этом возрастают (рис. 4). В случае использования магнита с большим диаметром (≥6 мм) уменьшается максимальная высота размещения магнита над микросхемой, но и требования к точности позиционирования также падают (рис. 5, 6). Для работы магнитных датчиков угла поворота серии AS5000 производства austriamicrosystems оптимально использовать диаметрально поляризованный магнит диаметром 6 мм и высотой 2,5 мм.

В настоящее время основными типами материалов, применяемых для изготовления магнитов, являются AlNiCo, SmCo и NdFeB. При выборе материала для магнита руководствуются требованиями к техническим характеристикам, условиям эксплуатации и стоимости (таблица). Магниты на основе материала SmCo имеют маленький температурный коэффициент, обладают отличной коррозионной стойкостью и могут эксплуатироваться при температурах до 350 °C, однако стоимость таких магнитов высока. Магниты на основе AlNiCo легко размагничиваются, так как имеют очень маленькую коэрцитивную силу. В большинстве применений достаточно использовать магниты NdFeB с покрытием из никеля или цинка для защиты от коррозии. Рекомендуется применять магниты на основе NdFeB типа BMN-35H (Bomatec Switzerland) или 81X0564-2 (Arnold Magnetics).

В идеальном случае центр магнита, диагональный центр микросхемы и ось вращения должны находиться на одной вертикальной линии. Магнит необходимо размещать над поверхностью микросхемы на расстоянии 0,5...1,8 мм. На очень коротких дистанциях от 0 до 0,1 мм точность будет ниже за счет неравномерности распределения магнитного поля. На дистанциях от 2,0 до 2,5 мм, за пределами диапазона АРУ, точность будет очень высокой, и лишь слегка меньше номинальной за счет ослабления магнитного поля. При увеличении рас-

стояния между магнитом и микросхемой необходимо учитывать возрастающие требования к точности центрирования магнита (Рис.3.).

Крепление магнита можно осуществлять непосредственно к не обладающему ферромагнитными свойствами валу (медь, нержавеющая сталь, алюминий, пластик и др.). При креплении магнита к ферромагнитным деталям силовые линии магнитного поля заметно исказятся, что повлечет значительное уменьшение величины магнитного поля на датчиках Холла, встроенных в чип микросхемы. В этом случае необходимо отделить магнит от детали небольшой прослойкой из неферромагнитного материала.

В ряде случаев необходимо произвести оценку точности центрирования магнита над корпусом микросхемы. Для этих целей предусмотрен режим электронной калибровки.

При близком расположении магнита к микросхеме или при применении магнита с сильной остаточной магнитной индукцией значения могут оказаться более 32. Такие магниты необходимо калибровать по минимальной разнице между максимальным и минимальным значением при полном повороте магнита воруг своей оси. В режиме электронной калибровки можно достичь точности центрирования магнита до ±0,485 мм, что несколько хуже, чем механическое центрирование ±0,235 мм, ограниченное точностью упаковки кристалла в корпус микросхемы [5].

Библиографический список

1. Ахмеджанов Р.А., Чередов А.И. Физические основы получения информации: учеб. пособие. - ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 210 с.

2. Sensors Magazine: "Understanding Hall Effect Rotary Encoders". [Электронный ресурс].URL:http://www.sensorsmag.com/sensors/author/authorInfo.jsp?id=35806

3. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Актуализация надежных и недорогих интегральных компонентов// Компоненты и технологии. 2009. No 3.-С.13-20.

4. Austriamicrosystems.[Электронный ресурс].URL:http://www.austriamicrosystems.com

5. Щерба А. Магнитные энкодеры производства austriamicrosystems. Позиционирование магнита над корпусом микросхемы// Компоненты и технологии.

2007. No 8. С.36-38.

УДК 372.853.00

С.В. Бирюков[1], А.В. Тюкин[2], Л.В. Тюкина[2]
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.
[2]Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск, Россия.

МЕТОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В MATLAB

Аннотация. При исследовании магнитного поля существует ряд задач целью, которых является определение формы силовых линий и направления вектора индукции магнитного поля в некоторой точке пространства. В настоящее время существуют различные методы получения картины линий магнитной индукции, самым простым из которых является способ визуализации линий магнитного поля при помощи мелких железных опилок. В статье предложен метод расчета и визуализации силовых линий магнитного поля с помощью математического пакета Matlab. Совпадение картин направления линий магнитного поля полученных экспериментально и с помощью программы дает возможность использовать данный метод при теоретических расчетах.

Ключевые слова: силовые линии магнитного поля, магнитная индукция, векторный потенциал, поле единичных векторов, пакет Matlab.

В 1820 г. Био и Савар исследовали магнитные поля, создаваемые токами, текущими по тонким проводам различной формы. Путем анализа этих экспериментальных данных Лаплас сформулировал закон в общем виде, получивший название закона Био–Савара–Лапласа [3]. Закон Био–Савара–Лапласа можно считать главным законом магнитостатики. Закон имеет в магнитостатике совершенно общий характер и вместе с принципом суперпозиции используется для нахождения индукции магнитного поля, создаваемого произвольной системой постоянных токов, в любой точке пространства. Действительно, так как индукция магнитного поля, создаваемого элементом тока *Idl*, расположенном в точке с радиусом-вектором r , в точке с радиусом-вектором R равна

$$d\overline{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\left[d\overline{l} \times (\overline{R} - \overline{r})\right]}{(\overline{R} - \overline{r})^3}, \tag{1}$$

то для вычисления индукции магнитного поля, создаваемого произвольной системой постоянных токов, следует задать ориентацию каждого элемента тока *Idl*, входящего в структуру, и вычислить индукцию магнитных полей, создаваемых каждым элементом тока и в соответствии с принципом суперпозиции произвести суммирование индукции магнитных полей:

$$d\overline{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\left[d\overline{l} \times (\overline{R} - \overline{r}_i)\right]}{(\overline{R} - \overline{r}_i)^3} \tag{2}$$

Отметим, что вычислить магнитное поле аналитически оказывается возможным, только для структур, имеющих достаточно высокую степень симметрии (прямой провод, поле кольца на оси симметрии и т. д.). Наиболее важными геометрическими конфигурациями токовых структур, для которых необходимо знать распределение индукции магнитного поля, являются: прямой провод, петля, соленоид, тороидальная обмотка.

Магнитная индукция является векторной величиной, а потому кроме абсолютной величины характеризуется направлением. Магнитное поле графически изображают при помощи силовых линий (линий магнитной индукции), которые являются замкнутыми [4]. Экспериментально картину линий магнитной индукции можно сделать видимой, если использовать мелкие железные опилки. В магнитном поле каждый кусочек железа, насыпанный на лист картона, намагничивается и ведёт себя как маленькая магнитная стрелка. Большое количество таких стрелок позволяет в большем числе точек определить направление магнитного поля и, следовательно, более точно выяснить расположение линий магнитной индукции. В качестве примера на рис.1 представлено направление линий магнитной индукции дугового магнита.

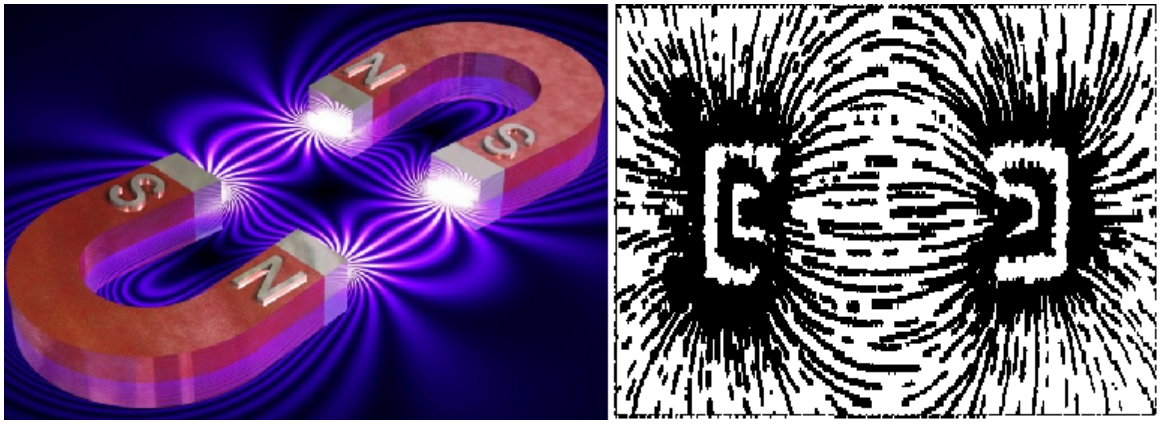


Рис.1 Картина направлений линий магнитной индукции дугового магнита

Однако можно предложить и другой способ для визуализации индукции магнитного поля – использование математического пакета MATLAB, так как в пакет встроены функции для вычисления стандартных действий векторного анализа: вычисление скалярного произведения, векторного произведения и т. д.

Воспользуемся приведенным в [2] примером программы вычисления и визуализации индукции магнитного поля, создаваемого витком с током в плоскости OX. В рассматриваемой плоскости в силу симметрии, составляющая индукции магнитного поля равна нулю, поэтому проведем вычисления только составляющих индукции вдоль осей OY, OZ. Так как целью программы является визуализация формы силовых линий магнитного поля, а не расчет абсолютных значений индукции поля множитель $(\mu_0/4\pi)I$ принимается равным единице.

Листинг файла Ring.m, содержащий описание функции, возвращающей значения составляющих индукции магнитного поля, приведен ниже:

```
 function [By,Bz]=Ring(a,Y,Z)
 % функция возвращающая значения проекций индукции магнитного
 % поля на оси OY, OZ
 Nstep=100;              % количество элементов, аппроксимирующих кольцо X=0;
 Ny=length(Y);           % число узлов координатной сетки по оси OY
 Nz=length (Z);          % число узлов координатной сетки по оси OZ
deltaphi=2*pi/Nstep;     % шаг по углу
 n=1:Nstep+1;
 phi(n)=deltaphi*(n-1);  % вычисление вектора φn = ndφ
 % вычисление составляющих индукции магнитного поля
for i=1:Nz
for j=1:Ny
s=[0 0 0];
for n=1:Nstep+1
dL=[-a*sin(phi(n))*deltaphi a*cos(phi(n))*deltaphi 0];
r =[a*cos(phi(n)) a*sin(phi(n)) 0];
 R=[X Y(j) Z(i)];
 s=s+cross(dL,(R-r))./((R-r)*(R-r)').^(3/2);
 end;
 by(i,j)=s(2);
 bz(i,j)=s(3);
 end;
 end;
 By=by;
 Bz=bz;
 N1=21;  % число узлов сетки
 i=1:N1+1;
 Ymin = -5; Zmin = -5; % нижний левый угол координатной сетки
 Ymax=5; Zmax=5;  % верхний правый угол координатной сетки
  % вычисление координат узлов сетки
Y (i)=Y min+(Y max-Y min)/N1*(i-1);
 Z(i)=Zmin+(Zmax-Zmin)/N1*(i-1);
 a=1;  % радиус кольца
 [By, Bz]=Ring(a,Y,Z);    % вычисление проекций индукции магнитного поля
 mp=(By.^2+Bz.^2).^0.5;  % вычисление значений модуля индукции
 % магнитного поля в узлах координатной сетки
% вычисление координат единичных векторов, касательных к
% силовой линии магнитного поля, в узлах координатной сетки
 by1=By./mp;
```

```
bz1=Bz./mp;
quiver (Y, Z, by1, bz1);    % визуализация векторного поля
```

Результат выполнения приведенной выше программы представлен на рисунке 2.

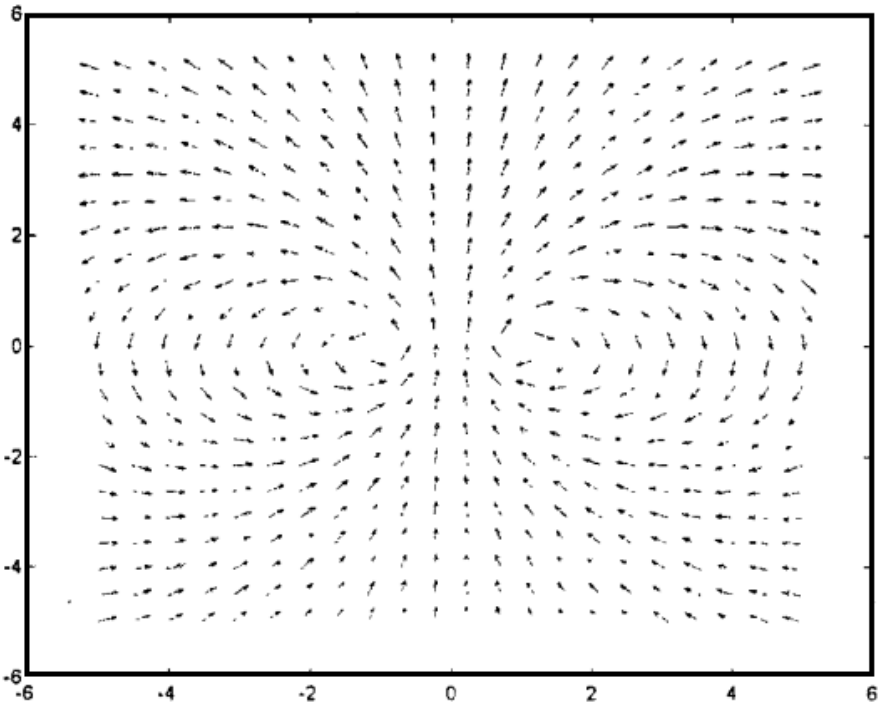


Рис.2 Картина поля единичных векторов

Анализ рисунка 2 показывает, что поле единичных векторов позволяет получать информацию о форме силовых линий и направлении вектора индукции магнитного поля в данной точке координатной сетки.

Недостаток такой технологии визуализации силовых линий магнитного поля состоит в том, что линия, являющаяся по своей физической сути непрерывной, заменяется набором векторов, касательных к данной линии. Для получения более адекватного изображения силовых линий магнитного поля необходимо использовать векторный потенциал магнитного поля *A*, связанный с индукцией магнитного поля соотношением:

$$\overline{B} = rot\overline{A} \tag{3}$$

Используя (3), можно показать [1], что силовая линия есть линия, на которой $\left|\overline{A}(x,y,z)\right| = const$. Следовательно, для построения силовой линии магнитного поля необходимо вычислить модуль векторного потенциала в узлах координатной сетки и затем построить карту эквипотенциалей.

Учитывая, что векторный потенциал магнитного поля определяется соотношением

$$\overline{A} = \sum_{i=1}^{N} d\overline{A}_i = \frac{\mu_0}{4\pi}\sum_{i=1}^{N}\frac{Id\overline{l}_i}{\left|\overline{R} - \overline{r}_i\right|} \tag{4}$$

запишем программу (листинг приведен в [2]) для функции, возвращающей значение составляющих индукции магнитного поля.

Результат выполнения программы представлен на рисунке 3.

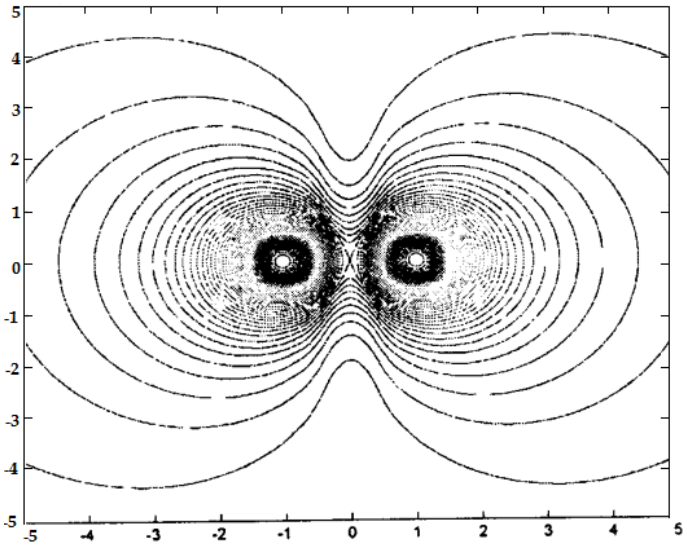


Рис.3 Результат визуализации программой силовых линий магнитного поля

Анализ полученных с помощью программы Matlab результатов визуализации силовых линий магнитного поля, представленных на рисунке, позволяет получить представление об их геометрии. Совпадение картины силовых линий магнитного поля полученной экспериментально и при использовании пакета Matlab говорит о правильности предложенного в статье метода и возможности его использовании при теоретических расчетах.

Библиографический список

1. Морс Ф.М. Методы теоретической физики [Текст] / Ф.М. Морс, Г. Фешбах. Т.1. М. : ИЛ, 1958. – 931 с.
2. Поршнев С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в MATLAB [Текст] / С. В. Поршнев – М.: Горячая линия - Телеком, 2003. – 592 с.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. [Текст]/ Д. В. Сивухин. Учеб. пособие: для вузов. В 5 т. Т III. Электричество. – 4-е изд. стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ. Изд-во МФТИ 2004. – 656 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов [Текст]/ Т.И. Трофимова. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.

УДК 372.853.00

С.В. Бирюков[1], *Л.В. Тюкина*[2], *А.В. Тюкин*[2]
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.
[2]Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск, Россия.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В VISSIM

Аннотация. В настоящее время невозможно представить процесс обучения студентов или школьников без использования компьютерных программ, позволяющих демонстрировать физический эксперимент. Рассматриваемая в статье программа VisSim при малом объеме на жестком диске (около 20 Мбайт) имеет огромные возможности для моделирования и решения любой физической задачи. Приведенные в статье примеры являются подтверждением тому, насколько просто используя систему блочного имитационного моделирования создать модель в VisSim. Простота и другие достоинства программы VisSim позволяют сделать

вывод о необходимости более широкого ее применения для работы со студентами и школьниками.

Ключевые слова: физический эксперимент, физическая модель, программа VisSim, параметры эксперимента, моделирование блок-схем.

Неотъемлемой частью любого физического эксперимента является понятие "модель". Моделирование физических объектов и систем проводится для определения их свойств и характеристик, а при необходимости позволяет скорректировать, уточнить их структуру и параметры. Это позволяет получить объект работоспособной системы, которую не придется существенно дорабатывать тогда, когда она будет изготовлена. Таким образом, моделирование сокращает и удешевляет процесс проектирования и реализации систем и объектов. Очевидно, что эксперименты на реальной системе могут быть не только дороги, но и небезопасны, в то время как моделирование позволяет получить нужную информацию о процессе или системе без лишних затрат и главное, без негативных последствий [2].

В настоящее время существует большое количество программ позволяющих пользователю построить модель любой сложности. Все программы отличаются друг от друга своими характеристиками: простым или сложным интерфейсом, объемом памяти, которую требует программа при работе, статусом – коммерческая, бесплатная, условно бесплатная и другими.

Рассмотрим более подробно возможности одной из таких программ – VisSim [3]. Программа VisSim предназначена для построения, исследования и оптимизации виртуальных моделей физических и технических объектов, в том числе и систем управления. VisSim это аббревиатура выражения Visual Simulator – визуальная, воспринимаемая зрением, среда и средство моделирования. Программа VisSim, разработана и развивается компанией Visual Solutions (USA) [4-6].

При описании и последующем построении модели в среде VisSim нет необходимости записывать и решать математические уравнения, программа это сделает сама по предложенной исследователем структуре системы и параметрам ее элементов. Результаты решения выводятся в наглядной графической форме. Поэтому программой могут пользоваться и те, кто не имеет глубоких познаний в математике и программировании [2].

VisSim позволяет решать задачи по физике, начиная с уровня школьных и кончая серьезными физическими экспериментами на виртуальных лабораторных стендах. Данная особенность программы делает ее незаменимым помощником на занятии, так как каждый преподаватель или учитель старается закрепить материал лекции, если это возможно демонстрациями и экспериментами.

Известным фактом является факт, что в физическом практикуме все эксперименты для изучения физических явлений можно условно разделить на три класса:

- эксперименты, которые можно наблюдать и воспроизводить даже в условиях обычной физической лаборатории и не требующих для этого сложного оборудования;
- эксперименты, которые могут быть выполнены и наблюдение, за которыми ведется только при наличии специальных лабораторий и специальных приборов;
- эксперименты, в которых физические процессы наблюдать невозможно в силу отсутствия на данный момент времени методик и специальных приборов.

Поэтому в последних двух случаях и возникает необходимость в существовании некоторого способа использующего схемы, рисунки и дающего возможность объяснить физическое явление. Такую возможность дает компьютерная программа VisSim. Она может обеспечить:

- имитацию экспериментальной части работы в соответствии с разработанной математической моделью;
- возможность варьирования параметров эксперимента;
- возможность непосредственно наблюдать, исследовать, экспериментально проверять правильность теоретических предположений.

Рассмотрим несколько примеров построения физических экспериментов в VisSim.

Пример 1. Фигуры Лиссажу.

При сложении взаимно перпендикулярных колебаний с различной частотой колеблющееся тело движется по сложной траектории. Такие замкнутые траектории называются фигурами Лиссажу. Две таких траектории представлены на рис.1.

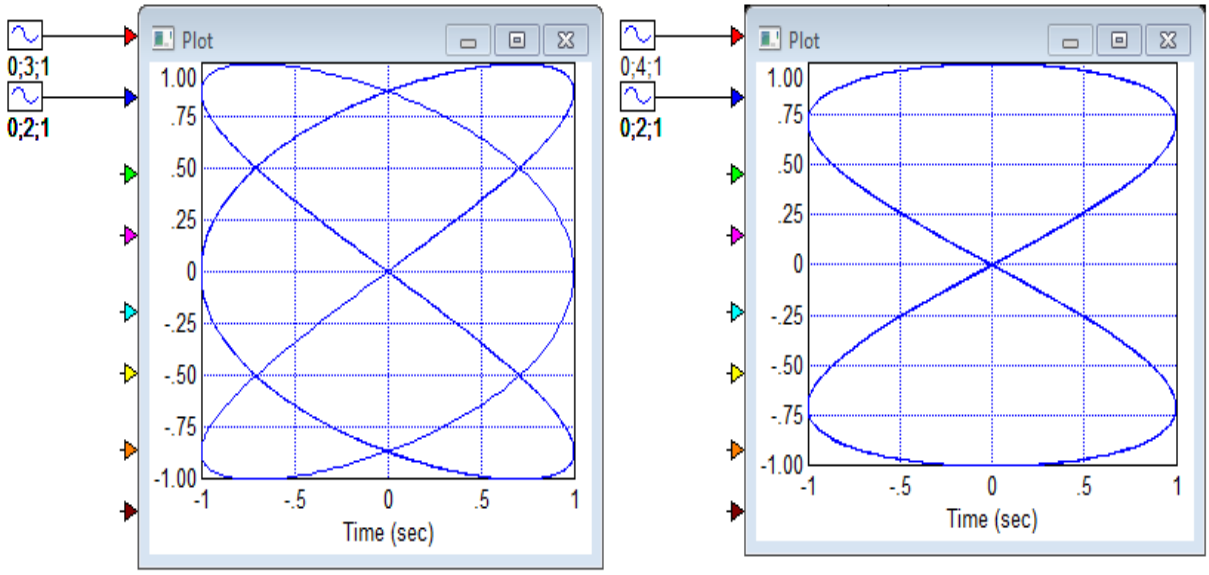


Рис.1 Результат сложения синусоидальных колебаний разной частоты

Для моделирования данного эксперимента необходимо всего три блока: два генератора синусоидальных колебаний и монитор. Создание этой модели занимает меньше минуты [1].

Пример 2. Изучение свободных затухающих колебаний.

Приведем одну из методик выполнения лабораторной работы по определению основных характеристик свободных затухающих колебаний, используя график, полученный с помощью VisSim. Для этого используя график рис.2 необходимо:

1. Определить период колебаний по формуле:

$$T = \frac{t'}{N} \tag{1}$$

2. Измерить амплитуды колебаний, соответствующие началу и концу избранного отрезка времени.

3. Подсчитать значение коэффициента затухания по формуле:

$$\alpha = \frac{\ln \frac{A_t}{A_{t+t'}}}{t'} \tag{2}$$

5. Подсчитать значение логарифмического декремента затухания по формуле:

$$\lambda = \alpha T = \frac{\ln \frac{A_t}{A_{t+t'}}}{t'} \cdot \frac{t'}{N} = \frac{\ln \frac{A_t}{A_{t+t'}}}{N} \tag{3}$$

6. Данные измерений и расчетов занести в таблицу.

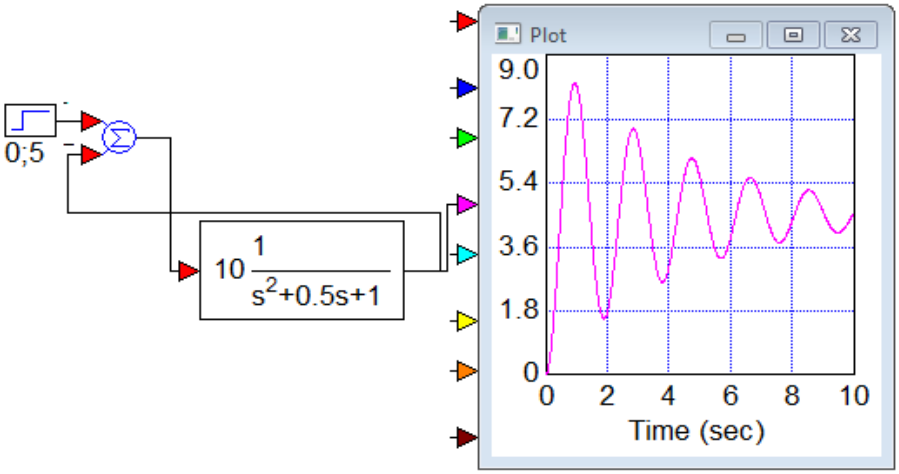


Рис.2 График свободных затухающих колебаний

Для постановки данного эксперимента необходимы блоки: генератор на выходе, которого возникает сигнал, изменяющийся с постоянной скоростью, блок передаточной функции и осциллограф [1].

Пример 3. Закон Ома.

Приведем упрощенную модель, позволяющую проверить справедливость закона Ома и по полученным программой значениям построить линейную зависимость U(I). Данная модель может применяться на уроках физики в школе.

Для постановки данного эксперимента необходимы блоки: два регулятора, блок – прибор, который визуализирует величину входного сигнала, отображая ее с помощью стрелочного указателя (рис 3).

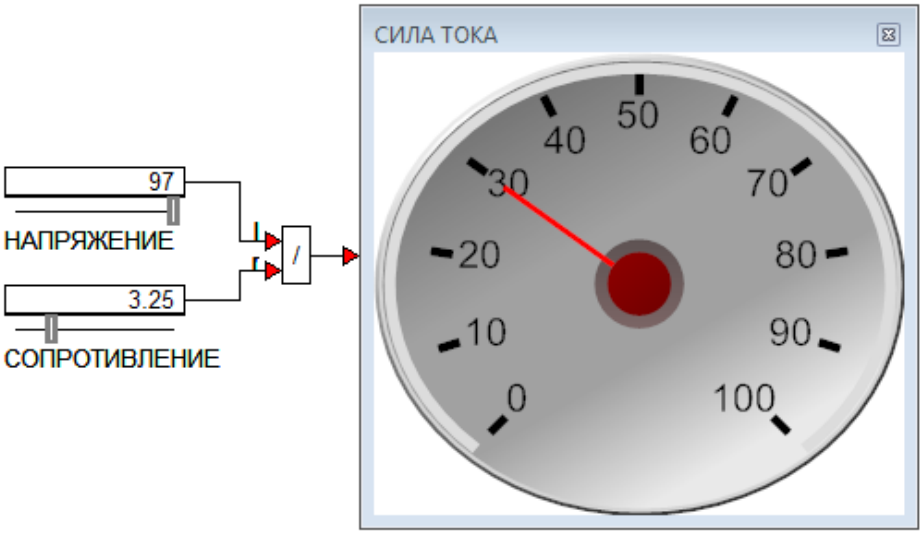


Рис.3 Схема установки для проверки закона Ома

Разумеется, нет необходимости стремиться к тому, чтобы компьютерные модели, моделирующие реальный физический эксперимент, вытесняли сам эксперимент из физического практикума. Однако использование компьютерных программ, подобных VisSim способствует углубленному изучению физических явлений, и может использоваться в качестве одного из элементов при обучении предмету. Использование компьютерных программ моделирующих физический эксперимент дает возможность многократного самостоятельного процесса обучения и закрепления материала.

Библиографический список

1. В. П. Дьяконов VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 384 с.
2. http://model.exponenta.ru/ vsmhlpru.zip
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/VisSim
4. http://model.exponenta.ru/download.html
5. http://www.vissim.com/
6. http://vissim.exponenta.ru/

УДК 621.396

Г.А. Буц, Д.В. Гулаков, Г.С. Никонова, И.В. Никонов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ В СИСТЕМАХ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Аннотация. Рассмотрено применение пьезоэлектрических устройств на поверхностных волнах (ПАВ) в системах радиочастотной идентификации. Проведено моделирование по разработанному алгоритму с целью оптимизации топологии ПАВ-устройства, проведены экспериментальные исследования.

Ключевые слова: ПАВ-устройства, ПАВ-линии задержки, ПАВ-резонаторы, встречно-штыревые преобразователи.

На данном этапе развития радиотехники устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ) успешно применяются для решения многих радиотехнических задач, в частности для фильтрации и генерации электрических сигналов в диапазоне частот от 10 МГЦ до 2-3 ГГц. Принцип действия ПАВ-устройств основан на возбуждении, обработке и приеме поверхностных акустических волн, в которые за счет обратного пьезоэффекта преобразуются электрические сигналы. После требуемой обработки акустических волн, они вновь с помощью прямого пьезоэффекта преобразуются в электрические сигналы. В ПАВ-устройствах взаимные преобразования электрических сигналов и акустических волн в большинстве случаев осуществляются металлическими электродами, нанесенными методами фотолитографии на поверхность пьезоподложки, которые называются встречно-штыревыми преобразователями (ВШП).

Кроме применения ПАВ-устройств для решения чисто радиотехнических задач (фильтрации и генерирования электрических сигналов) в последние годы стали разрабатывать такие акустоэлектронные устройства для различных специализированных систем сбора и передачи информации. В частности, в последние 5-10 лет российские и зарубежные специалисты уделяют значительное внимание разработке специализированных ПАВ-устройств для анализа различных физических и информационных процессов. ПАВ-устройства в таких специализированных системах сбора и обработки данных выполняют функции различных датчиков. Кроме таких акустоэлектронных датчиков, системы сбора и передачи данных содержат также традиционные приемо-передающие радиотехнические устройства.

Примерами подобных систем сбора и передачи информации, в которых в качестве транспондеров используются специально разработанные для этих целей ПАВ-устройства, являются новые, пока еще экспериментальные системы радиочастотной идентификации с ПАВ-устройствами, рассмотренные, например в [1,2]. В такой системе радиочастотной идентификации ПАВ-устройства являются транспондерами-идентификаторами [3], а в радиосистеме имеется также маломощное радиопередающее устройство (РПДУ), в простейшем слу-

чае использующее амплитудную телеграфию и формирующее радиоимпульсы опроса, и радиоприемное устройство (РПУ). РПУ содержит дешифратор, анализирующий радиоимпульсы, переизлученные ПАВ-транспондерами, и преобразующий затем их в цифровой код. Цифровые коды являются адресами конкретных объектов такой системы радиочастотной идентификации. Основное отличие таких систем от других систем идентификации – в применении акустоэлектронных радиокомпонентов, то есть ПАВ-устройств, выполненных в виде линии задержки или резонатора. На рисунке 1, в качестве примера, показана топология ПАВ-устройства (транспондера), выполненного в виде одновходового ПАВ-резонатора, содержащего один ВШП и несколько групп распределенных отражательных структур. Каждая группа содержит определенное число металлических полосок (отражателей), шириной $\lambda_0/4$, а расстояние между отдельными полосками в группе также равно примерно $\lambda_0/4$ (шаг электродов равен примерно $\lambda_0/2$). Величина $\lambda_0 = v/f_0$ - длина акустической волны; v – скорость акустической волны в пьезоподложке, f_0 – частота акустического синхронизма ВШП, равная несущей частоте электрического сигнала, излучаемого радиопередатчиком.

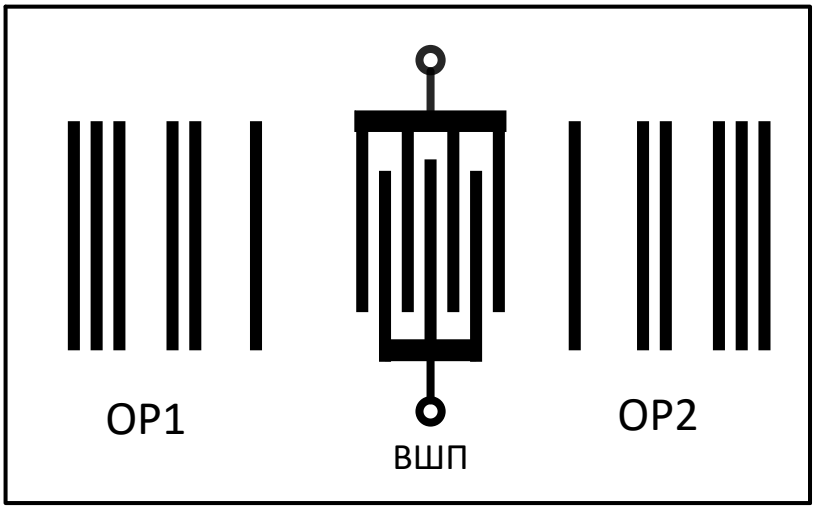


Рис. 1. Топология ПАВ – устройства

В проведенных экспериментах были частично повторены измерения, проведенные ранее в [2], причем, в данном случае в радиосистеме использовался всего лишь один ПАВ-идентификатор, что было обусловлено решением исследованием лишь одной частной задачи. В данном исследовании задачей являлось оптимизация числа отражательных электродов в разных группах отражателей с целью получения от них отраженных акустических импульсов одинаковой амплитуды, то есть исследование и оптимизация ПАВ-идентификатора. С этой целью при моделировании акустоэлектронного устройства применялся разработанный алгоритм для проектирования ПАВ-генераторов в части проектирования топологии пассивных ПАВ-устройств [4].

Маломощный передатчик радиоимпульсов опроса с периодически излучал радиоимпульс опроса (амплитудно-телеграфный сигнал), а ВШП ПАВ-идентификатора выполнял одновременно и функции приемо-передающей антенны и функции формирователя последовательности радиоимпульсов. То есть ВШП передавал вновь в «эфир» радиоимпульсы, вернувшиеся к нему от групп отражательных полосок. Например, на поверхности пьезоподложки теоретически может быть выполнено от 8 до 64 групп отражателей. Это может обеспечить количество адресов для объектов в конкретной системе от 2^8 до 2^{64}.

Проведенное моделирование топологии преобразователей и отражательных решеток и экспериментальные исследования по приему переизлученных ПАВ-транспондером последовательностей радиоимпульсов, проведенные в данных исследованиях, подтвердили перспективность разработки и применения подобных систем. Применение разработанного алгоритма

проектирования ПАВ-устройств позволяло проектировать топологию с требуемым изменением коэффициента отражения отражательных групп электродов и этим обеспечить постоянство амплитуды в переизлученных радиоимпульсах. Алгоритм моделирования позволял вводить разные начальные условия. Удобнее было задавать требуемый коэффициент отражения для наиболее удаленной группы электродов отражательной решетки и в результате получать необходимое количество электродов в отдельных отражательных группах.

Библиографический список

1. Федченко Е. А., Никонов И.В. Устройства идентификации на поверхностных акустических волнах [Текст]/ Е.А.Федченко, И.В.Никонов// Материалы IV региональной научно-практической конференции «Омский регион – месторождение возможностей», 2-3 апреля 2013г. Омск: Изд. : Омская гос. мед. академия, 2013. – С.88-89. (1 электрон. опт. диск).
2. Никонова Г.С. Система радиочастотной идентификации [Текст] / Наука, образование, бизнес: матер. Всероссийской науч. практ. конф. ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященной Дню радио. Омск: Изд. полигр. центр КАН, 2013.- С. 185-187.
3. Пат.2328069 РФ НО3Н9/145. Устройство идентификации объектов на поверхностных акустических волнах/ Багдасарян А.С., Бутенко В.В., Гуляев Ю.В., заявитель и патентообладатель ФГУП НИИР, №2006109346/09 заявл. 24.03.2006г., опубл. 20.10.2007г.
4. Никонова, Г. С. Минимизация фазовых шумов ПАВ-генератора за счет системного проектирования [Текст] / Г. С. Никонова, И. В. Никонов //Известия высших учебных заведений. Физика.- 2015.-№8-2.- С.114-117.

УДК 378.046.2

В.К.Волкова, А.Г. Дроботун
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ФИЗИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ВУЗА

Аннотация. Эмпирическая основа статьи - результаты тестирования первокурсников технического университета за пять учебных лет (2011 – 2016), которые были проанализированы и обобщены. В статье произведено сопоставление оценки знаний входного тестирования студентов младших курсов на различных факультетах университета. Экспериментально зафиксировано ежегодное снижение уровня подготовленности абитуриентов по физике за исследуемый период. Для исправления пробелов в предвузовской подготовке и совершенствования инженерного образования, а также повышения способности студентов к обучению были разработаны корректирующие мероприятия, и, кроме того, определены направления организации учебно-методической работы в техническом вузе. Указанные меры привели к заметному повышению успеваемости и качества знаний студентов.

Ключевые слова: физика, успеваемость, качество образования, тестирование, коррекция.

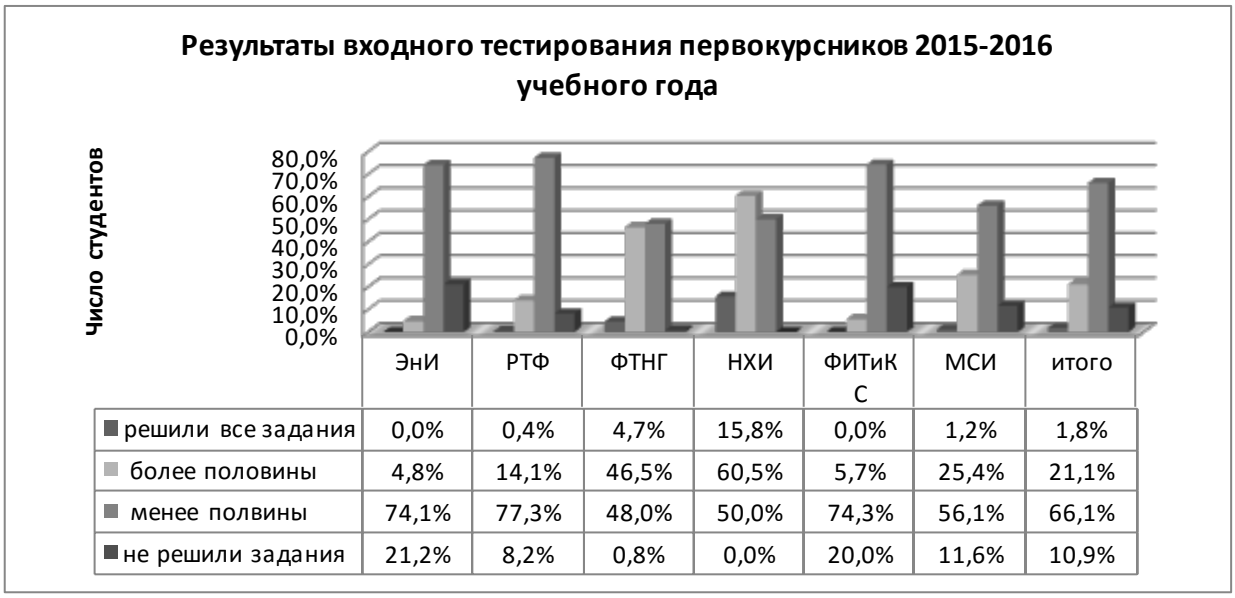
Организация образовательного процесса студентов-первокурсников в ВУЗе должна учитывать не только современные требования к профессиональным знаниям, умениям, навыкам, но и уровень их школьной подготовки. Эффективность научно-педагогической деятельности преподавателей ВУЗа определяется многими составляющими, в том числе и уровнем общих знаний, полученных студентами в школе [1, 2]. Ориентация на повышение

качества и успеваемости студентов требует введения и применения как новых технологий, так и новых экспериментальных исследований в области науки образования.

Процесс адаптации студента вначале к учебной, а затем к профессиональной деятельности в первую очередь зависит от его школьной подготовки. В последние годы наметилась её заметная поляризация по всем дисциплинам, но особенно по физике и математике. Но одно дело говорить об этом, а второе – экспериментально доказать.

Цель настоящего исследования – получить конкретные сведения о состоянии остаточных школьных знаний по физике у первокурсников после их летнего перерыва в образовательном процессе. Такие сведения нужны и важны для организации методической работы коллектива преподавателей кафедры. Реализация этой цели была основана на системе тестирования первокурсников в формате ЕГЭ по дисциплине «физика». Тестирование проводилось в течение пяти учебных лет преподавателями кафедры физики на практических занятиях в течение первых недель учебного семестра каждого года. Тестовый материал для всех студентов и всех лет исследования был одинаковым и состоял из десяти заданий по основным темам механики и молекулярной физики, взятых из вариантов ЕГЭ для абитуриентов (часть А) [3]. В данном экспериментальном исследовании представлены результаты входного тестирования абитуриентов 2015–2016 учебного года и обобщённые результаты с учётом предыдущих четырёх лет, с которыми можно ознакомиться по работам [4–6].

В экспериментальном тестировании 2015–2016 учебного года принимали участие 818 студентов первого курса семи факультетов ОмГТУ: радиотехнического (РТФ), нефтехимического (НХИ), факультета информационных технологий и компьютерных систем (ФИТиКС) , факультет транспорта, нефти и газа (ФТНГ), энергетического (ЭНИ) и машиностроительного (МСИ) . Этот числовой набор студентов позволяет сделать усреднённые выводы. Результаты обработки данных тестирования по факультетам и итоговые по вузу наглядно проиллюстрированы гистограммой (рис. 1).



	ЭнИ	РТФ	ФТНГ	НХИ	ФИТиКС	МСИ	итого
решили все задания	0,0%	0,4%	4,7%	15,8%	0,0%	1,2%	1,8%
более половины	4,8%	14,1%	46,5%	60,5%	5,7%	25,4%	21,1%
менее полвины	74,1%	77,3%	48,0%	50,0%	74,3%	56,1%	66,1%
не решили задания	21,2%	8,2%	0,8%	0,0%	20,0%	11,6%	10,9%

Рис. 1 Результаты тестирования первокурсников

Из представленных данных видно, что значительная часть студентов (11 %) либо совсем не справилась с заданиями, либо показала слабую подготовку (66 %). Меньше четверти первокурсников (21 %) смогли выполнить задания, продемонстрировав относительно устойчивые показатели в знаниях и умениях. Хорошо подготовленным школой оказалось небольшая часть первокурсников (1,8 %).

Наибольшее число хорошо подготовленных (колонка 3) и ресурсных (колонки 4 и 5) абитуриентов 2015 – 2016 учебного года, стали студенты нефтехимического института и факультета транспорта, нефти и газа. Каждый второй студент этих факультетов при создании

необходимых условий способен к продвижению в системе знаний и практических умений. Подобной тенденции не наблюдалось в результатах тестирования предыдущих лет. По результатам прошлого года такие результаты показывал каждый четвертый студент, но стоит отметить, что преуспевающими были факультеты РТФ и МСИ. Сравнение с результатами тестирования прошлого 2014-2015 и нынешнего 2015-2016 учебных годов показаны на гистограмме (рис. 2)

Рис.2 Результаты тестирования первокурсников 2014-2015 и 2015-2016 учебных лет

Сложившуюся ситуацию, когда абитуриенты имеют недостаточные знания по физике и едва преодолевают нижнюю планку проходного балла, необходимо учитывать в учебном процессе первокурсников, тем более, что общая тенденция в школьных знаниях последних лет не внушает надежды на спонтанное улучшение. Этот вывод подтверждают обобщенные результаты мониторинга входных знаний первокурсников за пять лет, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные результаты за пять учебных года

Учебный год	Число протестированных студентов	Процент числа студентов, решивших все задания	Процент числа студентов, решивших более 5 заданий	Процент числа студентов, решивших пять или менее заданий	Процент числа студентов, не решивших задания
2011–2012	819	0,2	20,9	73,9	5,0
2012–2013	913	0,66	41,5	49,4	8,4
2013–2014	1083	1,0	29,1	56,5	11,7
2014–2015	1251	1,8	20,9	66,3	11
2015-2016	817	1,8	21,1	66,1	11
ИТОГО:	4883	1,1	32	62,4	9,4

Анализ результатов по годам показывает равномерное, но незначительное возрастание (с 0,2 до 1,8 %) малочисленной категории способных и знающих физику студентов до 2014-

2015 учебного года и стабильность (1,8%) по результатам 2015-2016 учебного года. Вторая и третья категории студентов также отличилась стабильностью в своем количественном выражении. Именно эти категории студентов требуют от преподавателей в первом семестре обучения в вузе продуманной и методически хорошо поставленной работы, чтобы они в дальнейшем явились ресурсом для пополнения способных студентов. Четвертая – категория неуспевающих студентов – осталась на том же уровне. Так за последние пять лет процентное соотношение этих студентов возросло почти в 2 раза.

Проведёнными мониторингами установлено, что дифференцированный индивидуальный подход при обучении физики оказывается взаимосвязанным с упомянутыми четырьмя категориями студентов. Такое деление определяет избирательность в постановке цели образовательного процесса. Для первой категории студентов требуется расширение системы знаний и повышение уровня познавательной деятельности, для второй – необходима ликвидация пробелов в знаниях. Третья категория студентов требует соблюдения строгой системы требований, включающей в себя контроль посещаемости студентами занятий, а также отслеживания и анализа результатов рейтингового контроля знаний. Как правило, для четвертой категории студентов важна диагностика учебных возможностей в целом, коррекция изначальной образовательной цели. Именно студенты последней категории являются неуспевающими по итогам экзаменационной сессии.

Эффективность учебно-методической работы на кафедре по формированию знаний студентов в течение трёх учебных семестров подтверждена позитивными результатами проведенного мониторинга. Для данного анализа были сопоставлены результаты входного тестирования первокурсников и итоги экзаменационной сессии, которую сдавали те же самые студенты на втором курсе, после прохождения курса физики в течение трёх семестров. Сравнивая эту зависимость с итогами экзаменационной сессии, можно отметить *позитивные* изменения: количество отличных и хороших оценок увеличилось на четверть, что связано с приобретением знаний по физике уже в вузе.

Несмотря на низкие усредненные показатели фундаментальных школьных знаний (проходной балл ЕГЭ по физике в ВУЗы находится в пределах 30 %), уровень технического и инженерного образования, безусловно, не должен снижаться, поскольку это представляет выраженную социальную опасность. Поэтому всегда стоит необходимость решения вопросов, касающихся установления связи ВУЗа со школой в направлении проведения курсов, семинаров, олимпиад для старшеклассников при участии в этих мероприятиях студентов младших курсов для выстраивания контактов с учащимися.

Непрерывная работа преподавателей по повышению уровня профессиональной мотивации уже студентов увеличивает процент выпускников инженерных специальностей, понимающих важность своей специализации в настоящее время. Строгая дифференциация студентов в вузе по уровню знаний с целью жесткого их отбора для последующего корректирующего обучения, а также проводимая разработка и внедрение новых информационных технологий в учебный процесс создает условия для обеспечения качества профессиональной подготовки будущих инженеров.

Библиографический список

1. Даньшина В. В., Волкова В. К. Влияние экспериментальных исследований на развитие естественнонаучного образования. // Научное обозрение: Гуманитарные исследования. 2013. № 8. С. 4 – 8.

2. Аронова Т.А., Дроздова И.А. Реализация компетентностного подхода в процессе изучения общей физики в техническом вузе в условиях адаптации студентов первого курса. // В сборнике: Профессиональное образование: двухуровневое и модульное обучение, кредитные системы, компетентностный подход, материалы юбилейной межвузовской научно-методической конференции. Омск, 2010. С. 32-34.

3. Демидова М. Ю., Нурминский И. И. Федеральный банк экзаменационных материалов. М.: Эксмо, 2008. 368 с.

4. Калистратова Л.Ф. Итоги входного тестирования первокурсников. / Материалы Всероссийской научно-практ. конференции с международным участием «Школа-вуз: достижения и проблемы фундаментального образования». В 2 ч. Ч.1.// Екатеринбург: УрФУ. 2012. – С. 24 – 27.

5. Калистратова Л.Ф. Входное тестирование по физике в вузе как первоначальный источник организационной методической работы в учебном процессе кафедры. /Л. Ф. Калистратова, О. Ю. Павловская, В. К. Волкова //Научное обозрение: Гуманитарные исследования. 2014. № 10. С. 28 – 32.

6. Калистратова Л.Ф., Волкова В.К., Прокудина Н.А. Применение электронного предэкзаменационного тестирования в период сессии // Омский научный вестник. Серия «Общество. История. Современность». 2011. № 1- 95. С.194–196.

УДК 621.317.79

А.В. Горбачев, А.И. Щелканов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ВИБРОДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ДАТЧИКАМИ НА ОСНОВЕ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Аннотация. Сформулированы основные подходы к разработке датчика параметров вибрации подшипниковых узлов. Обосновано использование для построения датчика программируемой системы на кристалле (PSoC) фирмы Cypres).

Ключевые слова: вибродиагностика, подщипниковый узел, MEMS, аналого-цифровой преобразователь, PSoC, цифровая обработка сигнала, виброскорость.

Работа различных систем управления, функционирующих в реальном времени, существенным образом зависит от количества и качества используемых в системах измерительных преобразователей информации - датчиков.

Введение интеллектуальной составляющей в структуру датчиков позволяет по новому подойти к синтезу компоновочных решений и алгоритмов функционирования, увеличить информационные возможности, повысить точность, надежность [1].

Особенности и преимущества, получаемые от использования «интеллектуальных» датчиков, связаны с встраиванием вычислительных ресурсов в структуру датчика.

Обработка данных производится непосредственно в датчике, в отличие от обработки в центральном контроллере системы, что характерно для большинства традиционных систем. При этом интеллектуальный датчик наряду с реализацией стандартных функций может быть динамически перепрограммирован в соответствии с пожеланиями пользователя в части расширения функциональных возможностей.

Применение методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) позволяет повысить не только качество измерений, но и значительно расширить функции приборов. Кроме уже известных возможностей (программирование диапазонов преобразования, фильтрация сигнала, коррекция аддитивных и мультипликативных погрешностей) появляются и другие весьма полезные функции (коррекция нелинейности номинальных статических характеристик чувствительного элемента, задание параметров для реализации допускового контроля, реализация сервисных режимов самодиагностики, оптимизация трафика по информационным шинам с ограниченной пропускной способностью).

Вибрационный сигнал является физическим носителем информации о состоянии элементов работающего механизма (насосной установки). Вибрация и шум - естественные про-

цессы, протекающие в машинах и оборудовании, и возбуждаются они теми же динамическими силами, которые являются причинами износа и разных видов дефектов и повреждений. Вибрация и шум трансформируются друг в друга на границах газовой и твердых сред.

Одним из основных параметров вибрационных процессов является виброскорость - производная виброперемещения по времени. Виброскорость используют при определении технического состояния машин при полигармоническом характере вибрации. Этот параметр обычно связывают с энергией механических колебаний, направленной на разрушение деталей. Виброскорость показывает максимальную скорость перемещения контролируемой точки оборудования в процессе ее движения. В практике измеряется обычно не максимальное значение виброскорости, а ее среднеквадратичное значение (СКЗ), являющееся более информативным.

Различают нормальный уровень вибрации, тревожный уровень, указывающий о возникновении проблем в оборудовании и аварийный уровень, требующий немедленного останова оборудования. При появлении проблемных уровней вибрации сложного оборудования, проводят вибродиагностику и ремонт. Операция вибродиагностики необходима для выявления причин дефекта, и места ремонта. Для ответственного и габаритного оборудования задача нахождения места поломки экономически оправдана. Принцип эксплуатации подобного оборудования обеспечивается непрерывным мониторингом с помощью надежных и относительно дешевых систем мониторинга, а при возникновении нештатных ситуаций локально применяется более дорогое диагностическое оборудование для выявления причин и мест неисправности [2].

Для вычисления СКЗ цифрового сигнала уместно использовать интегральную теорему Парсеваля [3], о соответствии энергии сигнала сумме его спектральных составляющих. Кроме того, необходимо учитывать, что используя в качестве чувствительного элемента акселерометр виброускорения, мы получаем сигнал пропорциональный ускорению, который требует его преобразования в виброскорость. Преобразование виброускорения в виброскорость проводят интегрированием сигнала.

Для электронных устройств эксплуатируемых в промышленных условиях, в окружении, относительно высоковольтного, оборудования (порядка 4000 В), возможности механических и электрического воздействия целесообразно предусмотреть средства защиты от ESD (электростатических воздействий). Перспективными разработками в части защиты цифровых и питающих цепей в промышленных условиях выделяется Analog Devices, создавшая серию гальванических развязок по технологиям iCoupler, isoPower [4]. Эти трансформаторные гальванические развязки позволяют в отличии от традиционных оптоэлектрических приборов передавать информацию с частотами до десятков МГц, напряжение пробоя при этом составляет 2,5-5 kV. Серия ADUM144X [15] отличается малым потреблением порядка 140 мкА/МГц.

Структурная схема измерительного канала будет состоять из самого чувствительного элемента, устройства обработки, схемы передачи информации по стандартизованному каналу в систему автоматики.

В качестве чувствительного элемента целесообразно использовать микромеханические системы преобразования (MEMs-акселерометры), которые в настоящее время находят все более широкое применение в различных электронных устройствах из-за своей миниатюрности, дешевизны и надежности. Выбор акселерометров фирмы Analog Devices обусловлен тем, что кроме приемлемых шумовых характеристик, достаточного частотного диапазона, малого потребления эти изделия широко доступны и относительно дешевы. Так, например, микросхемы ADXL203/ADXL103 с аналоговым выходом, ADXL346 с цифровым выходом вполне доступны для различных технических применений, при этом нелинейность преобразования от полной шкалы заявлена не более 0,3% от полной шкалы. Изменение чувствительности от температуры не превышает ± 0,01%/°С, что обеспечивает погрешность преобразования вибрации ± 1 % при изменении температуры эксплуатации на 100 °С.

Выбор конкретного MEMs изделия осуществляется с учетом требуемого частотного диапазона, допустимого размаха воспроизводимых ускорений, уровня спектральных шумов, резонансной частоты и цены [4].

Основным устройством оцифровывания информации для последующей обработки служит АЦП. Основными производителями таких устройств на мировом рынке в настоящее время являются фирмы Analog Devices (AD) [4], Linear Technology (LT) [5], Texas Instruments (TI) [6] и ряд других, менее известных фирм.

При разработке этой части необходимо руководствоваться принципом линейного преобразования, то есть цифровой образ сигнала должен соответствовать его аналоговому источнику. Для этого необходимо обеспечить корректный выбор частоты дискретизации (определяет количество отсчетов в единицу времени) сигнала в соответствии с теоремой Котельникова. Обычно частота дискретизации и время считывания сигнала не изменяются во времени. Другие необходимые правила обеспечения линейности преобразований: это отсутствие ограничений преобразуемого сигнала, т.е. полная шкала преобразования (FS) должна быть учитывать максимальные уровни сигнала на входе и достаточная разрядность преобразования, исключающая или минимизирующая эффект накопления ошибки в расчетах.

Весьма перспективным, по мнению авторов, является техническое решение для обработки сигнала на базе устройств, содержащих микроконтроллер плюс программно конфигурируемую аналоговую и цифровую периферию.

Примером могут служить микросхемы программируемых систем на кристалле (PSoC) фирмы Cypress [7-9]. Одной из полезных особенностей этих микросхем является возможность перестраивать структуру аналоговых и цифровых блоков в процессе работы.

Устройство содержит управляющий микроконтроллер и два программно конфигурируемых блока цифровой и аналоговой обработки. Микроконтроллер, например архитектуры 8051 серии CY829 позволяет выполнять вычислительные операции с малыми затратами энергии.

Возможность использования аналоговых элементов PSoC на переключаемых конденсаторах позволяет строить достаточно эффективные фильтры. Выпускается ряд моделей PSoC, различающихся объемами ресурсов и, разумеется, ценой. В настоящее время выпущена пятая серия микросхем такого типа CY8C58 с 32-х разрядным микроконтроллером архитектуры Cortex M3.

Цифровая часть микросхемы содержит DBF (цифровые блоки фильтрации), что позволяет создавать фильтры с конечной и бесконечной импульсной характеристикой (КИХ (FIR), БИХ (IIR)) с тактовой частотой до 80 МГц и разрядностью 24. Кристалл также содержит интерфейсы USB и CAN, 16 Rx (входных последовательных), 8 Tx (выходных последовательных) цифровых каналов. Программируемая цифровая часть состоит из 24 PLD (программируемых логических устройств), построенных на структурах UDB (универсальных цифровых блоках).

Аналоговая часть представлена 20-разрядным дельта-сигма с частотой преобразования до 192 тысяч выборок в секунду, а также 12 – разрядным АЦП последовательного приближения до 1 миллиона выборок в секунду. При увеличении разрядности таких АЦП допустимая частота преобразования снижается, оставаясь на вполне приемлемом для решения поставленной задачи уровне.

Важными компонентами структуры являются высокоточный 0,1 % источник опорного напряжения, внутренний задающий генератор, перестраиваемый в диапазоне от 3 до 74 МГц. В микросхеме организована гибкая схема формирования временных интервалов как для процессорного ядра, так и для программируемых цифровых и аналоговых блоков.

Микросхемы поддержаны стандартными библиотеками программ, позволяющими строить стандартные аналоговые и цифровые схемы, включая системы вычисления контрольных сумм (CRC – кодов) для защиты информации, интерфейсов SPI, I2C, таймеры,

фильтры, АЦП, ЦАП и многое другое. Фирмой Cypress заявлено потребление такой микросхемы при тактовой частоте 6 МГц на уровне 3,2 мА. Значительных размеров Flash память программ (256 килобайт), из которых 32 килобайт ECC Flash память для защиты памяти программ и конфигурации, оперативная статическая память до 64 кбайт (SRAM), 2 кбайт EEPROM (отличающаяся возможностью перепрограммирования до 1 млн. раз, с временем хранения до 20 лет), для энергонезависимого хранения данных, 1 кбайт кэш 4-входовой памяти, 24 канальный контроллер DMA для прямого доступа к памяти с многоуровневой шиной ARM контроллеров.

Широкий диапазон напряжений питания от 0,5 В до 5,5 В объясняется наличием схемы формирования питающего напряжения с возможностью его внутрисхемного повышения, что важно, например, при разряде батареи питания. Блоки цифровой и аналоговой обработки конфигурируются программно и позволяют обрабатывать относительно быстроизменяющиеся аналоговые сигналы при низких энергозатратах.

Фирма-производитель обеспечивает потребителей как программными системами разработки типа PSoC Designer, так и различными программаторами и JTAG отладчиками. Интерфейс системы программирования аналоговой и цифровой частей PSoC Designer интуитивно понятен и не вызывает затруднений у разработчика [10].

Испытания изготовленного макета устройства на лабораторном стенде подтвердили корректность теоретических предпосылок и перспективность использования микросхемы 3-х координатных акселерометров ADXL345 компании Analog Devices. Для передачи данных используется цифровой интерфейс SPI. Питание MEMS-микросхемы осуществляется от постоянного напряжения в диапазоне 2 – 3,6 В. Потребление тока в режиме измерения не превышает 200 мкА.

Проведено тестирование макета устройства на возможность формирования непрерывного цифрового потока данных с акселерометра. Проведены испытания по сопряжению интерфейсов макета и ЭВМ по высокоскоростному порту USB с гальванической развязкой. Проведена проверка технологического и сервисного программного обеспечения, обеспечивающего подключение макета устройства к ЭВМ и считывание с изделия данных о его вибрации в трех ортогональных плоскостях в цифровом виде.

Библиографический список

1. Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П. Датчики (перспективные направления развития): Учеб.пособие / Под ред. М.П. Цапенко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 176 с.
2. Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. – М.: Сов.радио, 1971. – 343 с.
3. Баскаков, С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. — 3-е изд. — М.: «Высшая школа», 2000. — 462 с.
4. Analog Devices: [Электронный ресурс]. URL:http://www.analog.com/ru
5. Linear Technology: [Электронный ресурс]. URL : http ://www .linear.com/ru
6. Texas Instruments: [Электронный ресурс]. URL:http://www.ti.com/ru
7. Килочек Д. Проектирование на программируемых системах на кристалле PSoC Cypress // Компоненты и технологии. – 2006.- №4. –С. 134-139.
8. Килочек Д. Проектирование на программируемых системах на кристалле PSoC Cypress. Часть 2. Цифровая конфигурируемая периферия // Компоненты и технологии. – 2006.- №6. –С. 56-61.
9. Килочек Д. Проектирование на программируемых системах на кристалле PSoC Cypress. Часть 3. Аналоговая конфигурируемая периферия // Компоненты и технологии. – 2006. – №8. –С. 162–167.
10. Psoc-master: [Электронный ресурс]. URL: http://www.psoc-master.com/blog.

УДК 621.317

В.М. Гордеев, А.И. Щелканов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

МОНИТОР СОСТОЯНИЯ СВИНЦОВО-КИСЛОТНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ С ФУНКЦИЕЙ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрены вопросы создания монитора состояния свинцовой кислотной аккумуляторной батареи.

Ключевые слова: свинцово-кислотная аккумуляторная батарея, монитор, функция оценки внутреннего сопротивления.

В настоящее время аккумуляторные батареи (АБ) широко используются в повседневной жизни. Как и другие источники питания, аккумуляторы являются неотъемлемой частью любого электрического прибора. В то же время следует отметить, что применение аккумуляторных батарей имеет ряд особенностей, к которым следует отнести потерю ёмкости батареи при ее разрядке ниже допустимой нормы, что приводит к значительному снижению срока службы аккумулятора. Кроме того, разряд аккумулятора высокими токами также снижает срок службы АКБ и весьма опасен с точки зрения пожарной безопасности [1]. Таким образом, задача создания эффективного монитора является весьма актуальной.

На рисунке 1 приведена структурная схема устройства, где

АБ – аккумуляторная батарея;

К – силовой ключ;

Z_H - нагрузка;

ИОН – источник опорного напряжения;

УС1, УС2 – устройства сравнения (компараторы);

И, ИЛИ – логические элементы;

УНИ – устройство начальной инициализации;

ДТ – датчик тока (например, шунт).

Возможно применение в качестве датчика тока микросхемы с токовым преобразователем на элементах Холла.

Устройство работает следующим образом.

Ввод АБ в режим питания нагрузки Z_H обеспечивается выходным импульсом УНИ. Этот импульс может быть инициирован либо нажатием тактовой кнопки, либо импульсным сигналом с внешнего управляющего микроконтроллера. При этом на время действия этого импульса происходит замыкание силового ключа К. Устройства сравнений УС1 и УС2 анализируют напряжения на клеммах АБ и выходной сигнал датчика тока ДТ. При положительном результате процессов сравнения на выходах УС1 и УС2 имеют место логические единицы, т. е. напряжение на клеммах АКБ находится в норме, а ток нагрузки не превышает заданного максимального значения. На выходе элемента И появляется сигнал логической единицы, что обеспечивает удержание силового ключа К в замкнутом состоянии. При наступлении хотя бы одного аварийного события выход логического элемента ИЛИ устанавливается в нулевое состояние, что приводит к быстрому размыканию силового ключа, и обесточиванию нагрузки Z_H.

Для обеспечения приемлемых для практики параметров разрабатываемого устройства весьма важен выбор элементной базы. [2, 3]. На основании анализа существующей элементной базы, предлагаемой ведущими микроэлектронными фирмами, были выбраны микросхемы фирмы AMS (Austriamicrosystems) [4], обеспечивающие минимальное собственное энергопотребление, высокие метрологические характеристики, высокую надежность и простоту схемной реализации.

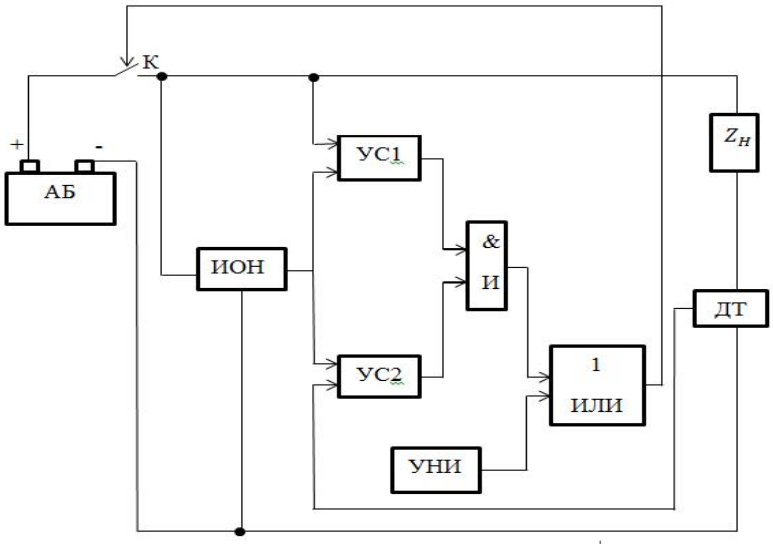


Рис. 1 Структурная схема монитора

В таблице приведены основные технические характеристики изготовленного макетного образца монитора.

Напряжение АБ, при котором возможно питание нагрузки, В	10,9 ÷ 14,4
Диапазон токов нагрузки, А	10^{-5}÷ 5
Время срабатывания силового ключа при аварийном событии, мс	10^{-2}
Напряжение отключения АБ, В	10,9 ± 0,05
Ток отключения, А	5 ± 0,05
Ток, потребляемый монитором в выключенном состоянии, А	1 x 10^{-6}
Ток, потребляемый монитором в рабочем состоянии, А	250 x 10^{-6}
Диапазон температур окружающей среды, ^{0}C	-40 ÷ +85

Функция оценки внутреннего сопротивления реализуется путем интегрирования в датчик тока дополнительных активно-реактивных компонентов.

Таким образом, проведенные исследования обеспечили создание практической схемы монитора состояния свинцовых кислотных аккумуляторных батарей, имеющего наряду с простотой реализации достаточно высокие метрологические и эксплуатационные характеристики.

Библиографический список

1. Кривецкий А. Заряд кислотных аккумуляторов/А.Кривецкий // Компоненты и технологии. – 2004г. – №4.

2. Раннев Г.Г. Методы и средства измерений. 2003г.

3. Дьяконов В.П. Современная техника и приборы для измерения резистивности и снятия ВАХ/ В.П.Дьяконов//Измерительная аппаратура. – 2010. – №10. – С.137–144.

4. http://www.ams.com

УДК 621.694.31

Д.В. Гусаров
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Россия.

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВСТРЕЧНЫМ ВОЗДУХОМ ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Аннотация. В данном докладе описан метод получения электроэнергии посредством генерирования её из кинетической энергии набегающего потока воздуха, при движении или на стоянке транспортного средства. Для приёма потока ветра был выбран вертикально-осевой ротор Савониуса с КПД=22%. В качестве генератора рассматривается трехфазный синхронный тихоходный генератор с числом оборотов до 150 об/мин.

По итогам исследования было выявлено, что минимальная мощность, вырабатываемая таким генератором равна 1,5 кВт. Далее полученная электроэнергия через статические преобразователи поступает в общую электросеть или запасается в АКБ.

Данный генератор в перспективе позволит снизить затраты на топливо, расходуемое на генерацию электроэнергии для потребителей первой и второй категории на 10-15%.

Ключевые слова. Генератор, ротор Савониуса, кинетическая энергия, набегающий поток.

За последние годы автомобилестроение совершило технический и технологический рывок. Решаемые производителями задачи повышения безопасности и комфортности автомобильного транспорта сопряжены с увеличением энергопотребления узлов и агрегатов этих систем, как современных, так и перспективных. Вероятно, что решение перспективных задач будет повышать требования к системам генерирования электрической энергии в автомобилях с точки зрения повышения мощности данных систем. Естественно, что электротехнические системы постоянно совершенствуются, и в будущем с их помощью будут решаться задачи увеличения мощности генерируемой электрической энергии.

Однако, несмотря на технический тренд развития сложившейся концепции электроснабжения автомобилей нельзя отрицать и тот факт, что автомобиль движется в воздушном потоке, обладающем кинетической энергией. С учетом этого авторами выдвигается концепция использования данного возобновляемого источника для генерирования электрической энергии в автомобиле.

В рамках исследований в ходе выполнения ВКР бакалавра научным руководителем и авторами рассматривались варианты реализации концепции в легковых и грузовых автомобилях. Однако проведенный анализ возможностей реализации с точки зрения эффективности применения данных систем показал, что использование их в грузовых автомобилях является предпочтительным. При этом, эффективность применения возрастает при использовании грузового автомобиля как транспортного средства для перевозки продуктов с заданной температурой хранения (рефрижераторов).

Если учесть, что часть механической энергии ДВС расходуется на выработку электрической энергии, то использование суммарной энергии ветра при движении автомобиля может рассматриваться как источник возвратности для выработки электрической энергии в грузовом автомобиле в среднем на уровне 10-15%. Это может быть достигнуто за счет использования набегающих воздушных потоков на кабину водителя не только при движении автомобиля, но и во время его стоянки.

С учетом выдвигаемой концепции авторами была произведена постановка задачи на проведение исследований и получены предварительные результаты на основе анализа имеющихся материалов по ветроэнергетике и проведенных расчетов, которые приведены ниже.

1. Актуальность объекта исследования:

Снижение нагрузки на систему генерирования электрической энергии грузового автомобиля при его эксплуатации в ночное время и в условиях низких температур на основе применения ветроэнергетической установки.

2. Предмет исследования:

Исследование возможностей применения в грузовом автомобиле ветрогенератора для обеспечения электроэнергией системы «комфорт», климатической установки, системы охлаждения рефрижератора и т.п.

3. Цель исследования:

Оценить значения электрической мощности, выдаваемой в систему электроснабжения с учетом применения ветрогенератора.

Постановка задачи на проведение исследований:

а) Анализ существующих систем ветрогенераторов.

б) Выбор эффективного ветрогенератора для оптимального канала подачи воздушного потока на ветроколесо.

в) Компоновка ветроэнергетической системы грузового автомобиля на базе отечественного образца (автомобиль КАМАЗ).

Геометрия воздушных каналов и ветрогенератора реализуется в реальных габаритах и размерах автомобиля. После окончательных выводов о возможностях реализации концепции возможна постановка вопроса о создании специального кузова, в том числе и рамках создания и развития интеллектуальных транспортных систем.

В последние годы ветроэнергетика бурно развивается. Основными производителями ветроэнергетических установок являются Дания, Германия. Китай и ряд других стран. На сегодня для производства электрической энергии в основном используются горизонтально-осевые ветродвигатели, мощность которых определяется площадью ометаемой поверхности. В то же время в последние годы наблюдается интерес к использованию вертикально-осевых ветродвигателей, которые, обладая меньшим коэффициентом использования энергии ветра, имеют ряд преимуществ перед горизонтально-осевыми ветродвигателями.

Авторы при анализе литературы по вопросам ветроэнергетики, не встретили работы, в которых рассматривается возможность ее использования в автомобильном транспорте для генерирования электроэнергии.

Как правило, целесообразность использования ветроэнергетических установок рассматривается, начиная со скоростей ветра 2,5-3,0 м/с. Увеличение мощности ветроэнергетической установки при таких скоростях достигается за счет увеличения площади ометаемой поверхности, однако очевидно, что такой возможности в автомобиле нет. Кроме того, размещение горизонтально-осевого ветродвигателя с учетом аэродинамики автомобиля не представляется возможным. При этом конструктивно возможно размещение вертикально-осевого ветродвигателя. Из известных на сегодня вертикально-осевых ветродвигателей для решения задачи был выбран ротор Савониуса с удлинением $\lambda = 0,5$ (высота H ветроколеса 0,5 м, диаметр D= 2R 1,0 м). Ветроколесо может размещаться в обтекателе над кабиной или в пространстве за кабиной водителя, при этом ротор ветроколеса размещается совместно с электрическим генератором.

В качестве генератора рассматривается трехфазный синхронный тихоходный генератор с числом оборотов до 150 об/мин.

Забор обтекающего автомобиль воздуха производится в обтекателе, расположенном над кабиной водителя. Количество лопастей ротора выбрано равным 5 как наиболее эффективное. При этом ось ротора размещается горизонтально поверхности земли для расположения ротора за кабиной водителя и вертикально при расположении ротора над кабиной водителя (в обтекателе). При использовании ротора для воздуховода с размерами сечения 0,5 м × 1,0 м мощность набегающего воздушного потока может составить 0,07 V^3, где V- скорость воздушного потока. Для скорости автомобиля 60 км/час (без учета скорости встречного ветра) V составит 16,7 м/с, что даст энергию в 600 Дж. С учетом коэффициента использования энергии ветра для ротора Савониуса 0,22 механическая мощность ветродвигателя составит порядка 120 Дж. Для скорости в 100 км/час мощность составит порядка 550 Дж. При проведении расчетов учитывалось, что в обтекателе имеется вырез с размерами не более 20% от

общей его площади, а аэродинамическое торможение при этом увеличивается не более, чем на 5%. Приблизительный расчет для электрического генератора на неодимовых магнитах показал, что с учетом приведенных выше выкладок минимально его выходная мощность может достигать около 1500 Вт.

Полученная таким образом электрическая энергия через систему преобразования и регулирования напряжения направляется непосредственно потребителям, или запасается в дополнительной АКБ.

С учетом выше изложенного можно утверждать, что возможна техническая реализация предложенной концепции, но требуется более детальная ее проработки с расчетом в целом проекта ветроэнергетической системы для грузового автомобиля.

Библиографический список

1. Розин М.Н. Ветрогирлянды // Малая энергетика: сетевой журнал. 2005г. URL:http://rosinmn.ru/VETRO_girland.htm / (дата обращения: 19.09.2015)

УДК 531:004.9+372.853

В.А. Егорова, С.В. Данилов, Д.В. Сентемов, К.В. Мажар
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЯ ДИНАМИКИ «СИЛА» В КУРСЕ ФИЗИКИ

Аннотация: в работе на основе тестирования школьников и студентов проанализированы типичные сложности, возникающие при использовании понятия «Сила» при изучении раздела классической физики «Динамика». Установлено непонимание учащимися понятия силы как количественной меры взаимодействия тел. На основе стандартной задачи разработана компьютерная программа, реализующая обучающий алгоритм выявления взаимодействий тел задачи. Использование программы повышает эффективность обучения данной теме.

Ключевые слова: преподавание физики, динамика, сила, взаимодействие тел, второй закон Ньютона

Современные информационные технологии позволяют создавать средства обучения с широкими интерактивными возможностями. Внедрение информационно-коммуникационных технологий в обучение позволяет сохранить тенденцию расширения доступа к образованию без снижения его качества [1]. Важнейшим условием эффективного использования любой информационной среды является ее содержательное наполнение, основанное на четком понятийном аппарате.

Одно из ключевых понятий классической динамики – понятие силы. Для успешного решения задач по разделу физики «Динамика» применительно к понятию «сила» необходимо усвоить следующее [2-5]:

- сила, как вектор, имеет точку приложения, направление и абсолютное значение;
- на тело может подействовать только другое тело, поэтому понятие «сила» следует относить к двум телам, участвующим в одном взаимодействии;
- взаимодействие тел осуществляется либо при их контакте, либо посредством физического поля;
- природа силы определяется видом фундаментального взаимодействия, в результате которого она появляется;
- действие силы может быть статическим и динамическим.

При решении стандартных задач динамики в соответствии с алгоритмом [4] необходимо сделать рисунок с указанием сил, действующих на каждое тело задачи. Грамотно сделанный рисунок – основа правильного решения задачи. Для выполнения рисунка необходимо четкое понимание происхождения той или иной силы.

В случае простых стандартных задач большинство учащихся автоматически расставляют силы, не задумываясь о причинах их появления. Такой автоматизм не способствует пониманию физического смысла понятия силы как меры взаимодействия тел.

К примеру, условие стандартной задачи: «К концам невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через невесомый неподвижный блок без трения в оси, подвешены грузы массами m_1 и m_2. Каково ускорение, с которым движется второй груз?». При ее решении многие учащиеся безошибочно указывают направления сил, действующих на грузы, но часть из них не в состоянии ответить на вопрос со стороны какого тела действует та или иная сила. Подавляющее большинство учащихся на вопрос «с какими телами взаимодействует первый груз?» отвечают, что со вторым грузом. Учащиеся просто запоминают, как следует направить вектора сил, игнорируя смысл понятия. В результате в более сложных или нестандартных задачах неверно определяют, какие силы следует учитывать в конкретном случае. Неожиданным открытием для преподавателя оказалось, что большинство студентов первого курса технического вуза не могут ответить на вопрос «со стороны чего на тело действует сила тяжести?». Также на вопрос «с какими телами взаимодействует данное тело?» студенты массово перечисляют силы, которые на него действуют, причем зачастую неправильно.

Для оценки понимания учащимися понятия «сила» авторами проведена проверка их знаний. Учащимся предлагалась задание, в котором следовало ответить на два вопроса:

1) с какими телами взаимодействует данное тело;

2) какая сила возникает в результате каждого взаимодействия.

Далее предлагалось изобразить силы, действующие на конкретное тело, записать для него второй закон Ньютона и перейти к векторной записи закона.

Несколько примеров из 20 предложенных случаев взаимодействия тел приведено на рисунке 1.

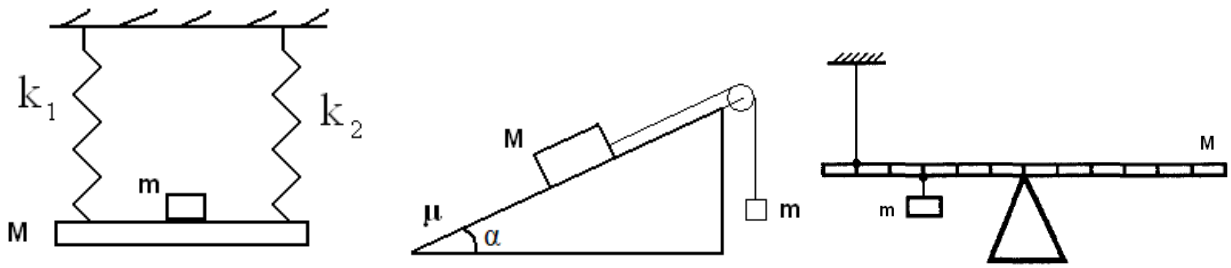


Рис.1 Задачи о взаимодействии тел

Анализ результатов выполнения заданий показал следующее. Из 20 школьников 9 класса исчерпывающе правильно на вопросы не смог ответить ни один ученик, из 80 студентов 1 курса Омского государственного технического университета только 11 человек не сделали ошибок при ответе на вопросы, при этом правильно изобразили вектора сил 27 студентов.

С целью реализации обучающего алгоритма выявления взаимодействий тел авторами разработана компьютерная программа на основе стандартной задачи: «Блок в виде диска массы m закреплен в вершине наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол α. Через блок перекинута тонкая гибкая нерастяжимая нить, к концам которой подвешены грузы №1 и №2 с массами m_1и m_2 соответственно». Решаемая задача доступна в трех вариантах. Первые два могут быть использованы как при обучении студентов, так и при работе со школьниками, т.к. в этих задачах масса блока пренебрежимо мала. В первой задаче наклон-

ная плоскость гладкая, во второй следует учитывать наличие трения о наклонную плоскость. Третья задача разработана с учетом массы блока с целью изучения основного закона динамики вращательного движения.

Рассмотрим основные особенности использования разработанной компьютерной модельной задачи для формирования понятия «сила» при изучении темы «Динамика».

Программа может быть использована как при аудиторной работе, так и при самостоятельном изучении физики, т.к. в ней реализован интерактивный режим обучения с реагированием на правильные ответы и с комментариями ошибок. К примеру, после выбора задачи обучающийся должен для рассматриваемого тела указать, в скольких взаимодействиях оно участвует. В случае неверного ответа появится комментарий, приведенный на рисунке 2.

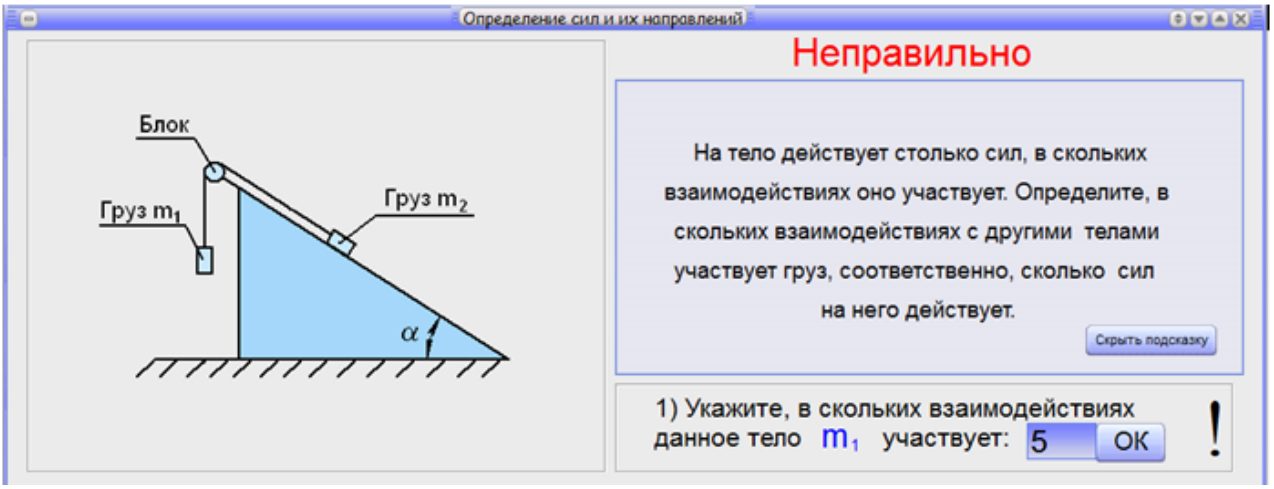


Рис.2 Интерактивный режим решения задачи

Далее учащемуся необходимо перечислить тела, с которыми взаимодействует рассматриваемое тело. В случае неверного выбора обучающемуся выдается подсказка, в которой приводится физический смысл понятия «сила», и указывается, каким образом может осуществляться взаимодействие тел. Затем обучающийся должен определить, какая сила является результатом взаимодействия рассматриваемого тела с каждым из перечисленных им тел. При неверных ответах на этот вопрос программа также выдает подсказку, позволяющую задуматься над причиной появления конкретной силы. После правильного ответа на все вопросы для данного тела на экране расставляются вектора сил и записывается второй закон Ньютона. Аналогично рассматривается взаимодействие второго тела с другими телами, записывается для него второй закон Ньютона, делается общий рисунок с указанием векторов всех сил и векторов ускорения и записью системы уравнений.

В результате учащийся получает систему уравнений второго закона Ньютона в векторном виде и в проекциях на выбранные оси координат, соответствующую сделанному рисунку к выбранной задаче.

В ходе решения задачи ведется учет ошибок отвечающего и определяется коэффициент усвоения физического материала, коэффициент усвоения математического материала и общий коэффициент усвоения материала.

В результате использования данной компьютерной разработки в той же группе школьников 9 класса был получен средний коэффициент усвоения физического материала 92%, что говорит об эффективности применения программы в отношении формирования понятия «сила».

Далее в интерактивном режиме для перехода к скалярной записи закона делается выбор систем координат и каждый вектор проецируется на соответствующую ось, как показано на рис. 3.

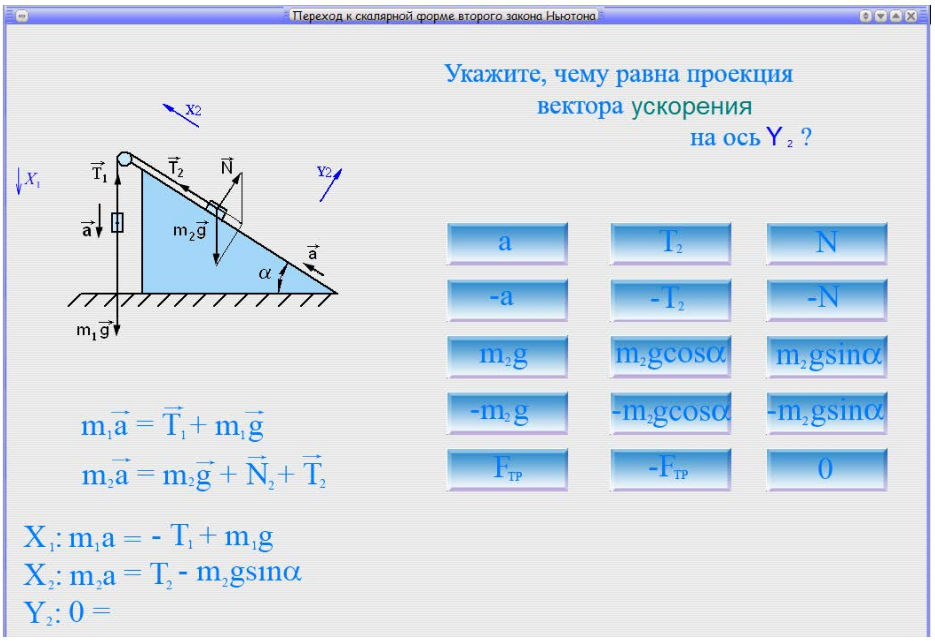


Рис.3 Переход к скалярной записи второго закона Ньютона

Библиографический список

1. Егорова В. А. Информационно-коммуникационные технологии в дистанционном физическом практикуме / В. А. Егорова, С.В. Данилов // Сборник тезисов докладов XII Международной учебнометодической конференции «Современный физический практикум» – М., Издательский дом МФО, 2012 г. – С. 33.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5 т. Том I. Механика. 4-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005. — 560с.
3. Данилов С.В. Классическая и релятивистская механика: конспект лекций / С. В. Данилов; Изд-во ОмГТУ Омск, 2008. – 60 с.
4. Гутман В.И. Алгоритмы решения задач по механике в средней школе / В.И. Гутман, В.Н. Мощанский – М.: Просвещение, 1988 – 95с.
5. Алифов А.А. Взаимодействия в природе. Единая теория. – М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. – 472 с.
6. Савченко Н.Е. Задачи по физике с анализом их решения М.: Просвещение, 2000. – 322 с.

УДК 621.317.79

А.С. Запорожец, А.И. Щелканов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

МИНИАТЮРНЫЙ СИГНАЛИЗАТОР ЭПИЛЕПТИЧЕСКИХ ПРИСТУПОВ НА ОСНОВЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Аннотация. Сформулированы основные подходы к разработке миниатюрного сигнализатора эпилептических приступов на основе таких инерциальных датчиков, как MEMS-акселерометры. Устройство имеет модуль GPS/GSM/GPRS, подключенный к базовому микроконтроллеру ATMEGA328.

Ключевые слова: эпилептический приступ, сигнализатор, MEMS, акселерометр, среднеквадратичное значение модуля вектора ускорения.

Эпилепсия — одно из наиболее распространенных неврологических заболеваний в мире. Согласно результатам популяционных исследований, данной патологией страдает около 1% населения планеты [1].

Эпилепсия – это заболевание, характеризующееся повторными (двумя и более) эпилептическими приступами, не спровоцированными какими-либо явными причинами.

Несмотря на потенциальную излечимость и наличие эффективных противоэпилептических препаратов, у 20-30% больных это заболевание является пожизненным. Смертность больных эпилепсией в 2-3 раза превышает таковую в общей популяции лиц, сопоставимой по полу и возрасту [2].

Эпилептический приступ – это стереотипное нарушение поведения, эмоций, сознания, моторных или сенсорных функций, сопровождающееся характерными изменениями на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Важно отметить, что приступы в виде мышечных судорог отмечаются лишь у 60% пациентов. У некоторых больных судорожному приступу предшествует аура – стереотипное и специфическое для данного больного ощущение или переживание (например, повышение температуры тела, чувство тревожности, изменение зрительного восприятия, неприятные ощущения в животе). Однако у остальных приступ развивается внезапно, без каких-либо предвестников. Непредсказуемый характер заболевания и стремительность развития пароксизмов создают повышенный риск травматизма и несчастных случаев, а также порождают постоянную тревогу и чувство беспомощности у пациентов и их близких.

В связи с этим существует реальная потребность в средствах регистрации судорожных приступов, которые могут подать сигнал тревоги члену семьи или ухаживающему персоналу для своевременного оказания помощи и вызова врача при необходимости. Таким образом, задача создания миниатюрного сигнализатора эпилептических приступов весьма актуальна.

Основой предлагаемого устройства является однокристальный высокопроизводительный микроконтроллер ATMEGA328, обладающий весьма развитой периферией.

В качестве альтернативы ЭЭГ методу детекции приступа используется метод инерциальных датчиков - MEMS-акселерометров. Выбранный для применения в приборе акселерометр ADXL345 [4] имеет цифровой двухпроводный интерфейс, аналогичный по функционалу интерфейсу I2C фирмы Philips.

Для звуковой сигнализации применен акустический пьезоизлучатель с номинальной частотой излучения 4200 Гц. Дублирование тревожного сигнала может быть обеспечено за счет интегрированного в прибор GSM/GPRS/GPS модуля типа SIM-908 компании SIMCOM.

Этот модуль после звукового сигнала обеспечивает отправку SMS-сообщения на предварительно запрограммированный номер. Сообщение включает географические координаты места отправки и оценочный показатель максимального среднеквадратического значения модуля вектора ускорения.

Если срабатывание сигнализатора является заведомо ложным с точки зрения больного, есть защитный интервал времени для нажатия кнопки блокировки отправки сообщения.

Библиографический список

1. Van de Vel A, Cuppens K, Bonroy B, Milosevic M, Jansen K, Van Huffel S, et al. Non-EEG seizure-detection systems and potential SUDEP prevention: state of the art. Seizure. 2013;22(5):345–55.
2. Дзяк Л.А., ЗенковЛ.Р., Кириченко А.Г. Эпилепсия. – К.: Книгаплюс, 2001. – 168 с.
3. National Institute for Health and Care Excellence. The epilepsies: the diagnosis and management of the epilepsies in adults and children in primary and secondary care. CG137. London: NICE, 2012.
4. Analog Devices: [Электронный ресурс]. URL:http://www.analog.com/ru

УДК 37.012.85

А.С Захарченко, Т.А, Сазанова, Н.Г Эйсмонт.
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ НОСИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ, КОТОРЫМИ ПОЛЬЗУЮТСЯ СТУДЕНТЫ ПРИ ОБУЧЕНИИ В ВУЗЕ

Аннотация: В исследовании приводятся результаты анкетирования студентов первого курса двух факультетов Омского государственного технического университета на предмет используемых при обучении в вузе источников и носителей информации. Также проведен обобщающий анализ полученных результатов. Проведено сравнение полученных результатов между группами с высокими и низкими учебными возможностями.

Ключевые слова – источники информации, носители информации, анкетирование, компетенции.

Согласно требованиям ГОС ВО последнего поколения, выпускники вузов должны быть подготовлены к самостоятельной работе с различными источниками информации. Формулировки данной компетенции несколько отличаются в различных Государственных образовательных стандартах, но общая идея при этом сохраняется. Приведем формулировки некоторых из них: способностью осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-8) для направления 16.03.03 [1]; понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, способность получать и обрабатывать информацию из различных источников, готовность интерпретировать, структурировать и оформлять информацию в доступном для других виде (ОПК-4) для направления 15.03.02 [2]; способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-2) для направления 15.03.04 [3]; и т.д. Для того чтобы добиться сформированности выделенных компетенций, учебный процесс должен строится так, чтобы студенты использовали при подготовке к текущим занятиям, итоговой аттестации различные источники информации, учились интерпретировать полученную информацию и отличать достоверные источники информации от недостоверных.

Кроме того, при проведении анализа удовлетворенности студентов качеством оказываемых образовательных услуг, была выявлена неудовлетворенность количеством печатных экземпляров учебной литературы, имеющейся в библиотеке университета. Для устранения этой неудовлетворенности, в качестве одной из мер, необходимо оценить долю студентов, регулярно использующих печатные издания.

Цель исследования – определить источники и носители информации, наиболее часто используемые студентами при подготовке к занятиям и итоговой аттестации, оценить эффективность их использования.

Согласно большинству определений [4], источники информации - это такие системы, компоненты которых обеспечивают размещение, целостность и доступность информации по ее назначению. В зависимости от типа интересующего вас объекта, источники можно каким-то образом классифицировать. Виды источников информации 1. открытые или относительно доступные; 2. полуоткрытые (не полностью засекреченные, но контролируемые кем-то); 3. закрытые. Источники информации могут быть: 1. знающими людьми; 2. документами; 3. средствами проводной и беспроводной связи. Данную упрощенную классификацию можно расширять и углублять.

Под носителем информации понимается [5] любой материальный объект или среда, используемый человеком, способный достаточно длительное время сохранять (нести) в своей структуре занесённую в/на него информацию. Это может быть, например, камень, дерево, бумага, металл, пластмассы, кремний (и другие виды полупроводников), лента с намагниченным слоем (в бобинах и кассетах), фотоматериал, пластик со специальными свойствами (напр., в оптических дисках) и т. п.

В данном исследовании нас интересовали источники и носители информации, которыми студенты вуза могут пользоваться при самоподготовке. Конечно, в основном это всевозможные учебные пособия в печатном и электронном виде, которые находятся в открытом доступе, но все возрастающая роль при обучении отводится в качестве источников информации различным ресурсам интернета. Для того, чтобы студенты не терялись в огромном потоке информации, их необходимо обучать самостоятельно пользоваться различными источниками информации, относиться творчески к их поиску, но при этом критически к ним относиться и «фильтровать» найденную информации с точки зрения её правильности и адекватности. Особенно это касается студентов младших курсов, у которых такой навык еще не сформирован. Особенно актуально это в свете результатов проведенных исследований, которые показали, что из всех выделенных внутренних факторов познавательной активности наименее задействованными в познавательной деятельности студентов оказались самостоятельность и творческое мышление [6].

Для достижения цели была разработана анкета из семи вопросов, которые отражали виды используемых носителей информации, частоту и удобство их использования для студентов ОмГТУ. В анкетировании приняли участие студенты первого курса нефтехимического института и факультета информационных технологий и компьютерных систем. При этом часть студентов обучались в группах с высокими учебными возможностями, что отражалось в результатах вступительных испытаний при поступлении в вуз и результатах входного контроля по физике. К таковым, например, относятся студенты группы УТС-151. Другую часть студентов, напротив, можно выделить в группу с низкими учебными возможностями, например, к таковым относится группа ТБ-151. Всего в анкетировании приняли участие 73 человека.

Формулировка первого вопроса анкеты и результаты анкетирования приведены в таблице 1:

Таблица 1

1. Какие источники информации вы используете при подготовке к занятиям?						
		УТС-151	**ТБ-151**	**ПБ-151**	**САУ-151**	**Всего**
1	учебные пособия и учебники	7	4	12	10	33
2	методические пособия	12	6	11	12	41
3	свои конспекты лекций	16	16	12	13	57
4	конспекты лекций своих одногруппников	4	4	1	2	11
5	интернет	14	17	13	14	58
6	другое	0	0	0	0	0

Из таблицы видно, что подавляющее большинство студентов (79 %) помимо рекомендуемой учебной литературы используют при подготовке к занятиям интернет ресурсы. При этом различными источниками при подготовке к занятиям 52 % опрошенных пользуются всегда, 37 % - преимущественно при подготовке к семинарам, 40 % - преимущественно при подготовке к итоговой аттестации в конце семестра.

Ответы на вопрос о рекомендованной учебной литературе распределились следующим образом (таблица 2):

Таблица 2

3. Берёте ли вы в библиотеке рекомендованную лекторами учебную литературу?						
		УТС-151	**ТБ-151**	**ПБ-151**	**САУ-151**	**Всего**
1	беру всю рекомендованную литературу и пользуюсь ею	7	2	7	3	19
2	беру, но не по всем предметам	9	15	8	11	43
3	беру, но не пользуюсь	1	3	0	0	4
4	не беру	1	0	3	3	7

Из таблицы видно, что берут всю рекомендованную литературу только 26 % опрошенных, при этом около 5 % ею впоследствии не пользуются. При этом около 40 % студентов утверждают ,что литературы в библиотеке недостаточно и им её не хватает, а 14 % считают имеющуюся литературу устаревшей. Около половины опрошенных считают удовлетворительным качество и количество литературы в библиотеке. При этом предпочитают бумажные носители электронным всего около 16 % студентов, а 42 % не могут отдать предпочтения тем или иным носителям и используют в раной степени и бумажные и электронные издания.

Достоверную необходимую информацию в разных источниках могут самостоятельно отыскать более 80 % опрошенных, однако 11% признались, что почти никогда не могут самостоятельно найти необходимую информацию, а один человек ответил, что нужную информацию самостоятельно найти не может никогда.

Рекомендуемыми информационными ресурсами, по результатам анкетирования, пользуются менее 40 % опрошенных. Наиболее популярным из них является научная электронная библиотека elibrary.ru. Об остальных рекомендуемых информационных ресурсах, таких как ЭБС «Арбуз», «Integrum», «Springer» и некоторых других большинство студентов даже не слышали.

Также в ходе исследования мы сравнили результаты анкетирования, полученные в группах с высокими и низкими учебными возможностями. При этом статистически значимых различий обнаружено не было. Довольно сильно различались ответы студентов на вопрос об использовании взятой в библиотеке литературы. Так, в более сильной группе берут всю рекомендуемую литературу и пользуются ею 39 % опрошенных, а в более слабой группе этот показатель составил только 10 %.

По результатам проведенного исследования можно сделать несколько выводов:

- Большая часть опрошенных студентов в процессе учебы регулярно пользуется различными источниками информации.

- Студенты не активно пользуются рекомендуемыми электронными ресурсами, предпочитая самостоятельно искать нужную информацию в разнообразных поисковых системах. При этом большинство студентов критически относятся к найденной информации, могут оценить её достоверность.

- Наблюдается небольшой перевес в пользу электронных ресурсов (по частоте и удобству использования) по сравнению с печатными изданиями.

- Принципиальных статистически значимых различий между результатами анкетирования в группах с высокими и низкими учебными возможностями обнаружено не было.

- Студентов младших курсов необходимо целенаправленно обучать работе с различными источниками и носителями информации. Этому, например, могут способствовать игровые формы работы, в которых нужную информацию нужно найти как можно быстрее.

- По результатам анкетирования можно скорректировать работу по использованию библиотечной литературы, тем самым решить проблему недостатка в печатных изданиях.

Библиографический список:

1. http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgosvob/160303.pdf
2. http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgosvob/150302.pdf

3. http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgosvob/150304.pdf
4. http://fb.ru/article/43331/istochniki-informatsii-i-ee-vidyi
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Носитель_информации
6. Сазанова Н.Г., Даньшина В.В., Сидорова Е.А. Факторы активизации познавательной деятельности студентов при изучении естественнонаучных дисциплин // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2011. – № 3(46) – С. 36-38.

УДК 372.853

А.А. Кисабекова[1], *М.П. Ланкина*[2]
[1]Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова, г.Павлодар, Казахстан.
[2]Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г.Омск, Россия.

ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОММУНИКАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В статье описаны особенности преподавания физики на английском языке с применением коммуникативных технологий в педагогическом вузе, а также задачи, возникающие при преподавании физических дисциплин на английском языке и опыт оценивания результатов обучения.

Ключевые слова: полиязычие, методика преподавания физики, оценивание, методическая система, балльно-рейтинговая система.

Введение. Изменения в области науки происходят настолько быстро, что невозможен достаточно быстрый перевод на другие языки. Основным источником информации в мире является литература на английском языке. И для того, чтобы быть в курсе последних открытий и идей, нужно иметь возможность читать материалы из первоисточников.

Во многих странах преподавание в университетах в бакалавриате и магистратуре реализуется на английском языке, что дает возможность студентам из разных стран участвовать в программах академической мобильности, программах двойного диплома, поступить в магистратуру зарубежного вуза и других образовательных программах. Образовательная политика в Казахстане направлена на развитие полиязычного преподавания предметов в школах. Поэтому возникает потребность в подготовке учителей, способных преподавать свой предмет на иностранном языке. Свободное владение языком открывает новые возможности для студентов, является ключом к мировым библиотекам, к своевременному овладению новыми технологиями, что особенно актуально, поскольку знания устаревают достаточно быстро.

Преподавание на английском языке имеет такие преимущества как развитие межкультурных навыков, повышение общей и специфической языковой компетенции, развитие коммуникативных навыков, а также повышает мотивацию обучаемых.

Сейчас делаются первые шаги по переходу к новой модели образования в вузах: изменяются стандарты образования, открыты специальности, где преподавание ведется частично на английском языке. Целью является реализация полиязычного образования, направленного на подготовку высококвалифицированных и конкурентоспособных специалистов

Методика **обучения физике на английском языке с применением коммуникативных технологий.** Если методика изучения дисциплин на родном языке более изучена, то методические вопросы изучения дисциплин на английском языке нуждаются в детальной проработке.

При преподавании дисциплин на английском языке язык – не только предмет изучения, а средство коммуникации, поэтому, в силу различного уровня знания студентами иностранного языка, возникают сложности в усвоении физики.

Перед изучением новой темы преподавателю приходится вводить новую терминологию, различные типичные выражения и конструкции предложений, характерных для данной темы. Преподаватель дисциплины вносит свой вклад в изучение студентами научной терминологии английского языка. И делать это приходится, отрывая время от своего собственного предмета, поэтому эффективность применяемых методик при преподавании дисциплин должна быть значительно выше, чем при обучении на родном языке, так как за фактически меньшее время надо изложить весь материал, к тому же на иностранном языке.

При обучении на иностранном языке после первичного просмотра может потребоваться сначала заучивание терминов, неизвестных студенту, затем типичных конструкций научного стиля речи, или же заучивание целых предложений из текста для обеспечения его воспроизведения на достаточно высоком уровне. Для обеспечения того же уровня эффективности запоминания, что и при обучении на родном языке, необходимо несколько чтений текста с переходами к работе над терминологией и над переводом и запоминанием отдельных предложений или абзацев. Таким образом, запоминание – это основа обучения, а эффективность запоминания зависит от типа мышления. Мышление бывает наглядно-действенное, наглядно-образное и отвлеченное. Для специалистов физико-технического профиля характерно наглядно-действенное и частично отвлеченное мышление [1].

Одной из задач, стоящих перед педагогом, преподающим физику на английском языке, является разработка методической системы обучения физике с учетом перечисленных особенностей. Методическая система обучения физике – это система диалектически взаимосвязанных компонентов – цели обучения, содержания образования, методов, средств и форм обучения. Непосредственным источником содержания курса общей физики является физическая теория. Покажем последовательность шагов проектирования элективной дисциплины «Электричество и магнетизм на английском языке».

Задачи, стоящие перед преподавателем, следующие:

1. Обосновать и разработать методическую систему обучения раздела «Электричество и магнетизм» в общем курсе физики педагогического вуза на основе системных свойств физической теории и деятельностного подхода в обучении.

2. Сконструировать содержание и структуру курса «Электричество и магнетизм» как учебной дисциплины, включающую в себя курс лекций по темам, систему учебных заданий для семинарских занятий, практикума по решению задач и лабораторного практикума.

3. Сформулировать требования к результатам обучения на практических, лабораторных и семинарских занятиях на основе целей и содержания физического образования будущих учителей физики.

4. Разработать систему учебных, учебно-исследовательских заданий и содержание самостоятельной работы студента в курсе электричества и магнетизма.

Дисциплина «Электричество и магнетизм» в Павлодарском педагогическом институте изучается на 2 курсе в 3 семестре, на ее изучение выделяется 3 кредита (135 часов, из них: 30 ч лекций, 15 ч практических, 30 ч лабораторных занятий, 30 ч – самостоятельная работа студента с преподавателем, 30 ч – самостоятельная работа студента).

Ограниченное количество часов по дисциплине делает необходимым поиск наиболее подходящего материала и новых стратегий преподавания, которые могли бы способствовать повышению эффективности его использования.

В настоящее время одним из эффективных методов изучения материала является коммуникативный метод, который подразумевает большую активность студентов, и задачей преподавателя в данном случае является вовлечение в беседу всех присутствующих в аудитории. Для лучшего запоминания и использования языка необходимо задействовать все каналы восприятия.

Использование наряду с традиционными новых методов преподавания физики, таких как метод джигсо, insert- метод, метод кластеров, фишбоун, таблица ЗХУ, групповая или парная работа, взаимооценивание и самооценивание, использование соответствующих аудио- и видеоматериалов из сети интернет, способно разнообразить обучение.

Преподавание физики на английском языке не должно уводить студентов от физического содержания предмета. Таким образом, акцент в таком подходе должен быть на предметном материале.

Элементы компетенций как результаты обучения. Согласно И.А. Зимней, для компетентностей фиксируется пятикомпонентная структура, включающая в себя знание, опыт проявления (умения, навыки), ценностно-смысловое отношение, готовность, эмоционально-волевую регуляцию [2].

Основным результатом деятельности вуза должна стать не система знаний, умений и навыков, а способность человека действовать в конкретной жизненной ситуации.

Результатами обучения являются четкие формулировки того, что ожидается, что студент будет знать, понимать и будет в состоянии продемонстрировать по окончании процесса обучения.

Цели обучения должны быть конкретные, измеримые, достижимые за ограниченное время, значимые и актуальные.

При компетентностном подходе важными являются компетенции как результат образования, образовательные технологии как способ их формирования и оценочные средства как инструмент доказательства достижения заявленных результатов образования.

Подходы к оцениванию. Различают два вида оценивания: формативное оценивание, т.е. оценивание для обучения, и суммативное оценивание. Формативное оценивание позволяет улучшать результаты суммативного оценивания

Формативное оценивание позволяет обеспечить эффективную обратную связь, активное участие учащихся в процессе учения, корректирование процесса обучения с учетом результатов оценивания, возможность для учащихся оценивать свои знания самостоятельно.

Планируемые результаты (цели) определяют способы и методы обучения и оценивания.

В настоящее время в педагогических вузах используется рейтинговая система, которая представляет собой объективную шкалу сопоставления качества и объема знаний студентов, по которой определяется индивидуальный рейтинг каждого из них.

Рейтинговая система контроля знаний – совокупность диагностирующих мероприятий, нацеленных на получение суммарной оценки степени обученности студента, выраженной в баллах.

При рейтинговой системе контроля повышается активность студентов в учебно-познавательной деятельности, их мотивации к учебе и самостоятельной работе, текущий контроль успеваемости, повышение объективности оценивания знаний и умений студентов на основе 100-балльной оценки. Посещаемость занятий выше, так как студенты понимают, что любой пропуск занятий связан с отсутствием возможности набрать баллы и впоследствии приводит к понижению их рейтинга.

Преподаватель не может повлиять на итоговую оценку успеваемости, поскольку необходимый суммарный балл набирается в течение длительного промежутка времени (семестр).

Проводятся все виды контроля: входной, промежуточный и итоговый, результаты которых дают возможность преподавателю координировать учебный процесс, изменять методы воздействия на студентов.

Для выставления рейтинга в институте ведется электронный журнал в системе Platon, и студенты имеют возможность в любое время ознакомиться с текущими оценками или баллами рубежного контроля, проводимого 2 раза в семестр, а также итогового контроля в конце семестра.

Максимальный процент можно обеспечить при посещении всех занятий, активном участии в работе на занятиях, выполнении всех практических заданий и лабораторных работ и СРС качественно и в срок.

По результатам работы за семестр определяется процент текущей успеваемости (рейтинг). Рейтинг менее 50% соответствует неудовлетворительной оценке. Для допуска к экзамену необходимо иметь положительную оценку.

Итоговая оценка по дисциплине определяется по формуле:

$$И = Р \cdot 0{,}6 + Э \cdot 0{,}4,$$

где $Р$ – процент рейтинга, $Э$ – процент, полученный на экзамене (тестовая или письменная формы), установлены следующие весовые доли: рейтинг – 0,6; экзамен – 0,4.

В таблице 1 приведены соотношения различных способов выражения отметки для экзамена и зачета.

Таблица 1

Балльно-рейтинговая буквенная система оценки учебных достижений обучающихся с переводом в традиционную шкалу оценок

Итоговая оценка в баллах (И)	Цифровой эквивалент баллов (Ц)	Оценка в буквенной системе	Оценка по традиционной системе	
			экзамен	зачёт
95-100	4	A	Отлично	Зачтено
90-94	3,67	A-		
85-89	3,33	B+	Хорошо	
80-84	3,0	B		
75-79	2,67	B-		
70-74	2,33	C+	Удовлетворительно	
65-69	2,0	C		
60-64	1,67	C-		
55-59	1,33	D+		
50-54	1,0	D		
0-49	0	F	Неудовлетворительно	Не зачтено

Оценивание производится на всех видах занятий:

На лекциях оценивание производится в начале лекции путем фронтального опроса или физического диктанта. Небольшая численность студентов в группах позволяет оценить степень усвоения проработанной лекции вышеперечисленными методами.

Подготовка к практическим занятиям будет проверяться опросами, проверкой выполнения домашних заданий, участием в работе группы, решением контрольных и самостоятельных работ.

Выполнение лабораторной работы оценивается на всех этапах: допуск к работе, своевременное выполнение, защита и качественное оформление отчета.

СРСП можно провести в виде семинаров и оценить степень подготовленности и понимания темы. В СРС оцениваются и зачитываются семестровые задачи, студенты разбирают отдельные теоретические вопросы по программе курса. Учитывается качество и своевременность выполнения заданий.

В каждом семестре предусмотрены два рубежных контроля знаний пройденного материала. Это может быть: автоматическое выставление оценки по текущим оценкам, устный опрос; письменный опрос; тест или контрольная работа.

Заключение. Обучение на английском языке вызывает большой интерес среди обучающихся. Интеграция Казахстана в мировое сообщество требует специалистов, которые владеют своей профессией на английском языке, и поэтому среди обучающихся возрастает потребность в получении образования на английском языке. Поэтому необходимо разработать методику преподавания дисциплин, в частности, физики, на английском языке для неанглоязычных студентов педагогических вузов. Организация контроля знаний является одной из важных составляющих учебного процесса, на каком языке обучение бы ни производилось. Поэтому преподаватель должен убеждаться в правильности понимания учебного материала и производить контроль и оценивание знаний достаточно часто.

Библиографический список

1. Кизиева Л.А. Методика преподавания физики в техническом вузе в условиях дифференциации и интеграции дидактических систем обучения. Автореферат дисс… канд. пед. наук. - Алматы, 2007. - 32 с.
2. Зимняя И.А. Компетенция и компетентность в контексте компетентностного подхода в образовании // Ученые записки Национального общества прикладной лингвистики. № 4(4), 2013, с.16-31.

УДК621.3.013:621.396.6.

В. О. Кропотин, Б. И. Огорелков, А. С. Татевосян
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Аннотация. В работе дается описание лабораторных стендов, созданных на основе результатов экспериментального исследования и математического моделирования экранирования электромагнитного поля промышленной частоты с помощью однослойных и многослойных экранов различной толщины и материалов, применяемых для их изготовления. При проведении исследований рассматриваются практически важные случаи, когда внутри электромагнитного экрана расположен источник поля или защищаемая область пространства. Полученные стенды могут предназначаться для использования на кафедрах «Физики» и «Теоретической электротехники» .

Целью данной работы является сопоставление опытных и расчетных данных, полученных с использованием современных измерительных приборов и конечно-элементного анализа экранирования электромагнитного поля промышленной частоты, и создание лабораторных стендов, на основе этих данных.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электромагнитный экран, эффект экранирования.

Электромагнитное экранирование нашло широкое практическое применение, например, для подавления помех электросвязи, обеспечения работы систем и устройств измерительной техники, снижения воздействия электромагнитного поля на здоровье человека [1, 2]. При решении задачи электромагнитного экранирования, стоит учитывать многие факторы, такие как: свойства применяемых для экранирования материалов, частота изменения поля, толщина стенки и побочные действия наличия экрана. В связи с этими факторами довольно трудно достигнуть максимального эффекта экранирования.

Решению задачи электромагнитного экранирования поля промышленной частоты посвящено большое число работ [3, 4, 5]. В ходе исследований установлено, что экранирующее действие экрана в переменном электромагнитном поле определяется наведенными в толще стенок экрана вихревыми токами и возбужденным этими токами магнитным полем, а также с затуханием электромагнитной волны при ее проникновении внутрь проводящей среды.

Электрическая схема разработанного лабораторного стенда показана на рис. 1, а на рис. 2 – внешний его вид.

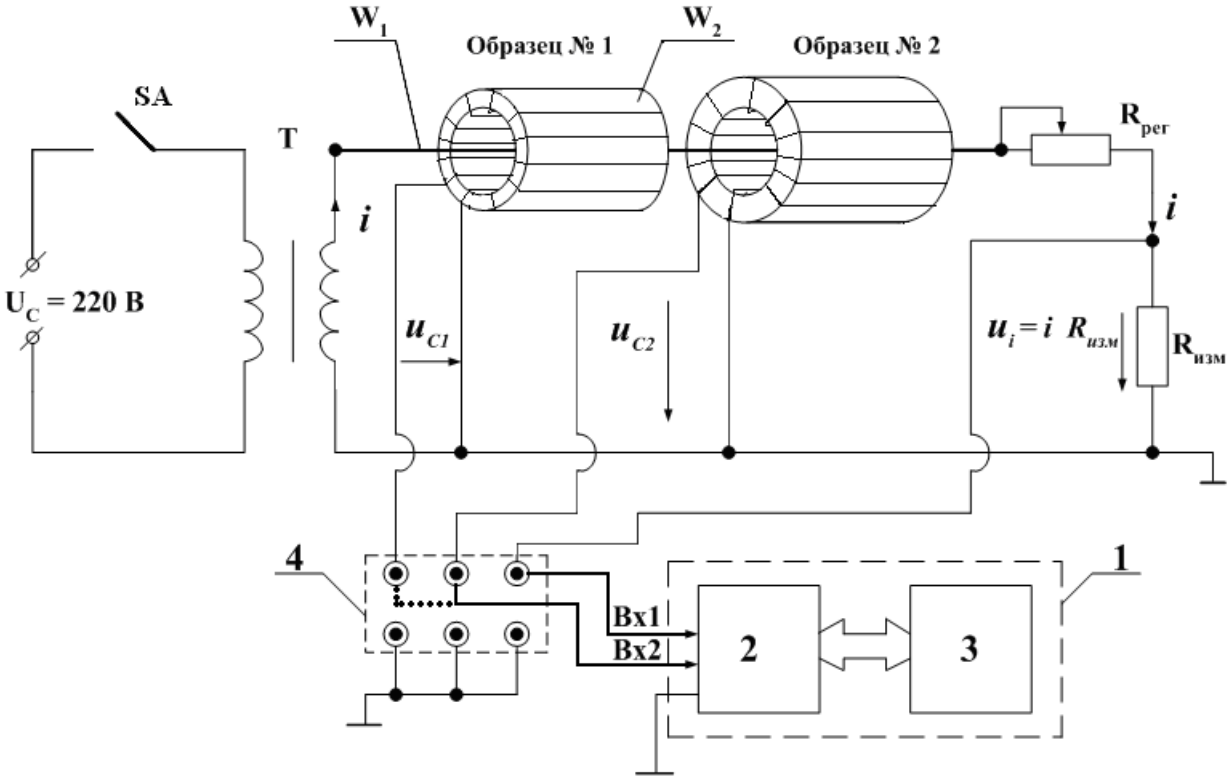


Рис. 1 Электрическая схема лабораторного стенда для исследования проникновения электромагнитного поля в стенку экрана: 1 - измерительный комплекс;
2 - двухканальный универсальный USB осциллограф;
3 - ПК; 4 - гнезда для подключения аналого-цифрового преобразователя.

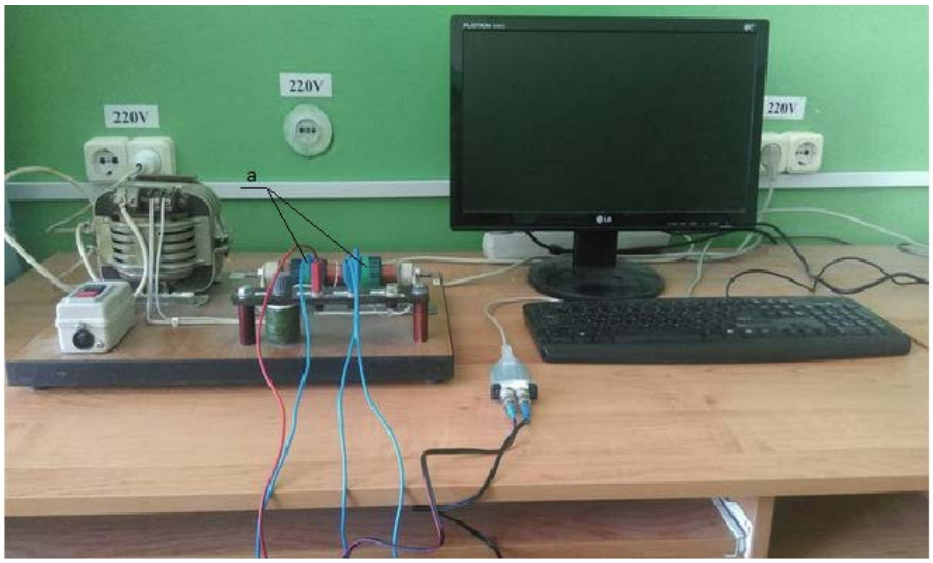


Рис. 2 Внешний вид лабораторного стенда.
а - испытываемые образцы электромагнитных экранов.

Экспериментальная часть исследований экранирования магнитного поля на лабораторном стенде с различными экранами сводилась к обеспечению постоянства ампервитков катушки путем изменения сопротивления регулировочного $R_{рег}$ реостата, установке датчика Холла в центральной части катушки вблизи оси симметрии, записи показаний амперметра и миллитесламетра, а также снятию осциллограмм напряжений с помощью измерительного комплекса. По показанию амперметра отслеживалось действующее значение тока в катушке.

При расположении источника магнитного поля промышленной частоты внутри экрана оценка эффективности экранирования поля с различными конструкциями экранов определяется результатами исследования процесса проникновения электромагнитного поля внутрь электропроводящей среды.

Расчетная часть исследований экранирования переменного магнитного поля промышленной частоты состоит в решении осесимметричной задачи расчета поля катушки с током в комплексе программ Elcut 6.0 при расположении внутри катушки различных по исполнению конструкций цилиндрических экранов.

В таблице 1 приведены результаты сопоставления опытных и расчетных значений коэффициентов экранирования испытываемых экранов. На основе расчета картин переменного магнитного поля катушки с различными конструкциями экранов были определены их коэффициенты экранирования.

Таблица 1

Коэффициенты экранирования переменного магнитного поля промышленной частоты для различных экранов

Экран	Опыт		Расчет	
	B_m, мТл	Коэффициент экранирования, о.е.	B_m, мТл	Коэффициент экранирования, о.е.
Без экрана	12,2	-	11,67	-
Медный экран	11,5	$1{,}06 \cdot e^{28^\circ}$	10,87	$1{,}07 \cdot e^{29^\circ}$
Однослойный стальной экран	0,52	$23{,}4 \cdot e^{36^\circ}$	0,48	$24{,}3 \cdot e^{39^\circ}$
Многослойный стальной экран	0,63	$19{,}2 \cdot e^{17^\circ}$	0,84	$15{,}2 \cdot e^{67^\circ}$

В результате проведенных исследований установлено следующее:

1. Применение многослойных стальных экранов с толщиной стенки 1 - 2 мм для экранирования переменного магнитного поля промышленной частоты не дает ощутимую выгоду по оценке эффективности экранирования, однако при одинаковом расходе металла делает работы по экранированию поля более технологичными.

2. Получено хорошее совпадение опытных данных по экранированию поля с различными конструкциями экранов на разработанных лабораторных стендах и результатов расчета комплексного значения коэффициента экранирования на основе построенных картин переменного магнитного поля с электромагнитным экраном в комплексе программ Elcut 6.0.

3. Потребность использования в энергетике, электротехнике, а также физике эффективных конструкций электромагнитных экранов для экранирования переменного магнитного поля промышленной частоты делает необходимыми работы по созданию новых лабораторных стендов на основе достижений измерительной техники и использования современных пакетов программ для конечно-элементного анализа переменных магнитных полей с электромагнитными экранами.

Библиографический список

1. Резинкина, М. М. Выбор параметров тонких электромагнитных экранов для снижения уровней магнитной индукции. Журнал технической физики, 2014, том 84, вып. 2 - с. 1-7.
2. Рябов, Ю. Г., Гуров, И. Б., Ломаев, Г. В., Билецкий, С.Э. и др. Многослойный электромагнитный экран для защиты среды обитания от электромагнитных воздействий. Журнал «Энергобезопасность и энергосбережение», 2011, № 1 - с. 3-7.
3. Каден, Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. - 327 с.

4. Электромагнитное экранирование: Научное издание /Д. Н. Шапиро - Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект». 2010. - 120 с.

5. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Изд. 6-е, перераб. и доп. Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. М., «Высш. школа», 1973. - 752 с.

УДК 621.313.17

Е.Г. Кунц, Е.Г. Андреева
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ П-ОБРАЗНОГО ЖЕЛЕЗООТДЕЛИТЕЛЯ С ДВУМЯ КОНЦЕНТРАТОРАМИ НА ПОЛЮСЕ

Аннотация. В работе приведены результаты исследования электротромагнитных процессов двух П-образных электромагнитных железоотделителей (электромагнитов) без концентраторов и с двумя концентраторами на полюсе в форме усеченного конуса. Железоотделители данного типа широко применяются для удаления ферромагнитных частиц из сыпучих и жидких материалов: щебня, угля, песка, резиновой крошки, опилок, зерна, сахара, костной муки, воды, нефти, бензина.

Цель работы: исследовать магнитные процессы двух П-образных электромагнитных железоотделителей без концентраторов на полюсах, и с гибридной магнитной системой, т.е. с двумя концентраторами на каждом полюсе.

Задачи: получить картины магнитного поля, силовые характеристики магнитного поля П-образного железоотделителя.

Результаты и выводы: применение концентраторов усиливает электромагнитное поле и увеличивает площадь обрабатываемой поверхности на транспортере.

Методы и средства исследования: численный расчет производился методом конечных элементов в программе Elcut.

Ключевые слова: железоотделитель, электромагнит, магнитная сепарация, магнитное поле, численные методы, концентратор.

Назначение и принцип действия железоотделителя. Для извлечения ферромагнитных частиц из сыпучих или жидких сред применяют, т.е. для их очистки, электромагниты постоянного или переменного тока. В работе исследуются разомкнутые электромагниты постоянного тока, называемые железоотделителями П-образной конфигурации. Процесс очистки среды заключается в воздействии магнитного поля на ферромагнитные частицы (болты, гайки, металлическая крошка и другие металлические предметы) в среде, которая движется, как правило, на траспортере. Пондеромоторные силы магнитного поля, создаваемого железоотделителем, воздействуют на частицы с высокой магнитной восприимчивостью (ферромагнитные) и, они прилипают к полюсу. Затем электромагнит отключают от питания, и удаляют ферромагнитные частицы в специальный приемник [1, 2].

В работе выполнено моделирование П-образного электромагнита железоотделителя с различной конфигурацией магнитной системы, с помощью современной программы для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов Elcut 5.1.

Математическая модель электромагнитных процессов П-образного железоотделителя. Численное моделирование магнитных систем проводилось с помощью метода конечных элементов с применением программы Elcut 5.1

При моделировании приняты основные допущения:

- относительная магнитная проницаемость стали является величиной постоянной;
- плотность тока в сечении обмотки распределяется равномерно;
- приняты нулевые граничные условия.

Исходные уравнения магнитостатического поля:

$$\mathrm{rot}\,\overline{H} = \overline{J}\,, \tag{1}$$

$$\mathrm{div}\,\overline{B} = 0\,, \tag{2}$$

$$\overline{B} = \mu\mu_0\overline{H}\,, \tag{3}$$

где $\overline{B}$ – вектор магнитной индукции (Тл); $\overline{H}$ – вектор напряженности магнитного поля (А/м); $\overline{J}$ – вектор плотности тока (А/м^2), μ - относительная магнитная проницаемость материала, μ_0 – магнитная постоянная. Параметры задачи заданы в табл. 1.

Таблица 1

Параметры задачи

№ п/п	Наименование параметра задачи	Значение параметра
1	Задача	Магнитные системы открытого типа
2	Тип задачи	Задача магнитостатики
3	Геометрия моделей	Рис. 1, 2
4	Относительная магнитная проницаемость • воздуха • стали • обмотки	 $\mu_в = 1$ $\mu_{ст} = 2000$ $\mu_{об} = 1$
5	Плотность тока (А/м^2) а области обмотки	$J = 8 \cdot 10^5$

Для линейных и изотропных сред (μ = const) уравнения (1)–(3) с учетом выражений $\mathrm{rot}\,\overline{A} = \overline{B}$ и $\mathrm{div}\,\overline{A} = 0$ преобразуются к уравнению эллиптического типа или уравнению Лапласа-Пуассона относительно магнитного векторного потенциала $\overline{A}$

$$\frac{1}{\mu}\nabla^2\overline{A} = -\mu_0\overline{J}\,.$$

Дифференциальное уравнение линейной однородной статической задачи для модели П-образного железотделителя при расчете двухмерного магнитостатического поля представляется системой уравнений относительно векторного магнитного потенциала в декартовой системе координат совместно с граничными условиями первого рода на границе модели $\overline{A} = 0$ (4)-(5). Уравнение будет однородным в областях магнитопровода и воздуха и неоднородным в области обмотки с током.

$$\frac{1}{\mu_r}\left(\frac{\partial^2\overline{A_x}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\overline{A_x}}{\partial y^2}\right) = -\mu_0\overline{J}_x\,, \tag{4}$$

$$\frac{1}{\mu_r}\left(\frac{\partial^2\overline{A_x}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\overline{A_x}}{\partial y^2}\right) = 0\,. \tag{5}$$

Конструкция железоотделителя. Электромагнитный железоотделитель представляет из себя литой магнитопровод, состояший из ярма и двух стержней с полюсами. На полюсах могут располагаться два концентратора в виде усеченного конуса. На каждом полюсе имеются два прямоугольных воздушных отверстия для уменьшения нагрева магнитопровода. На

стержнях намотаны катушки, катушки соединены последовательно. В обмотке железоотделителя протекает постоянный ток. Габаритные размеры исследуемых магнитных систем электромагнитов представлены на рис 1 (незамкнутая магнитная система), рис 2 (гибридная магнитная система). Размеры указаны в мм.

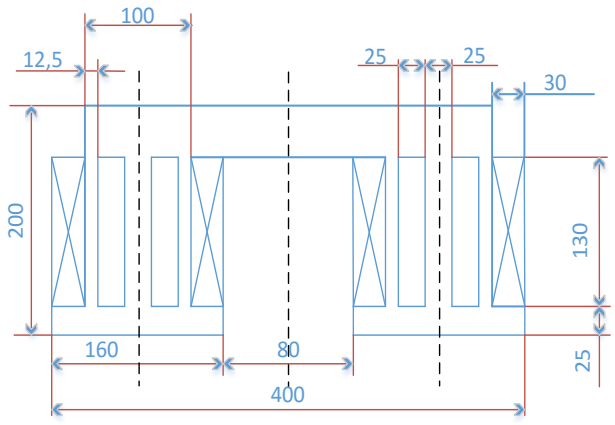


Рис. 1 Конструкция П-образного железоотделителя без концентраторов

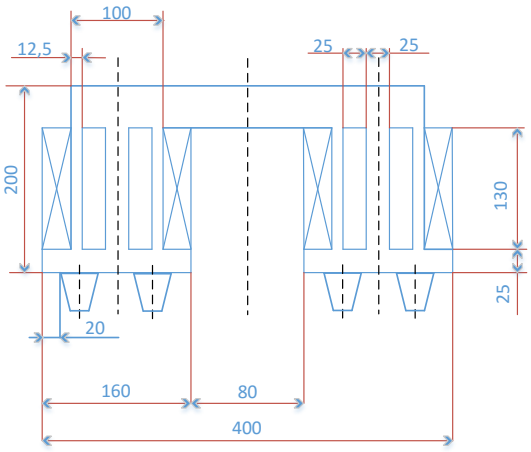


Рис. 2 Конструкция П-образного железоотделителя с концентраторами в виде усеченного конуса

Результаты исследования. Результаты электромагнитных расчетов с помощью программного пакета Elcut 5.1. П-образного железоотделителя с различными магнитными системами приведены на рис. 3, 4. 5, 6, 7, 8. На рисунках 3 и 4 приведены картины магнитного поля относительно векторного магнитного потенциала. Видно, что для П-образного железоотделителя с концентраторами в виде усеченного конуса (гибридная магнитная система) при одинаковом количестве эквипотенциалей уменьшается рассеивание магнитного поля, увеличивается его концентрация и искажение в воздушном зазоре железоотделителя, что приводит к увеличению пондеромоторных сил, действующих на ферромагнитные включения по сравнению с обычной незамкнутой магнитной системой без концентраторов.

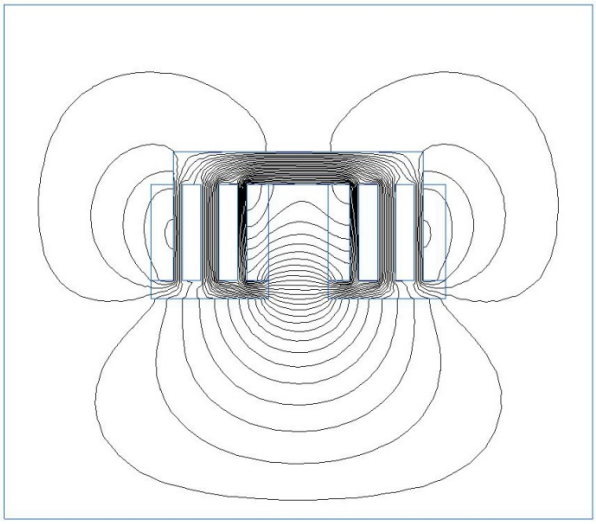


Рис. 3 Картина магнитного поля П-образного железоотделителя без концентраторов

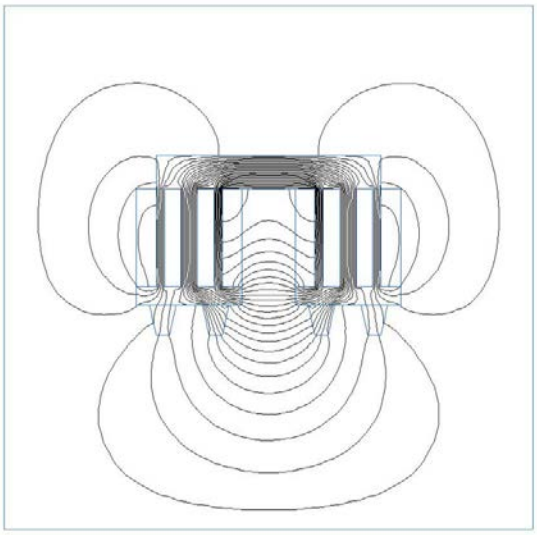


Рис. 4 Картина магнитного поля П-образного железоотделителя с концентраторами в виде усеченного конуса

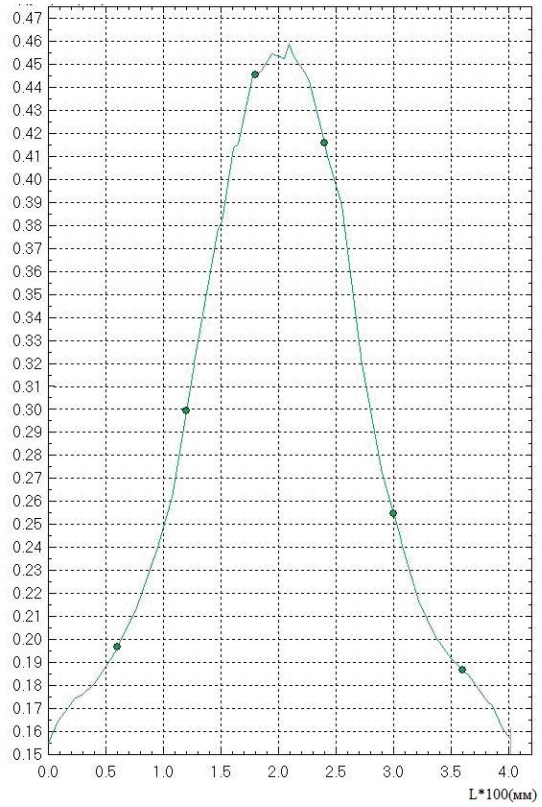


Рис. 5 График индукции П-образного железоотделителя без концентраторов на расстоянии 40 мм

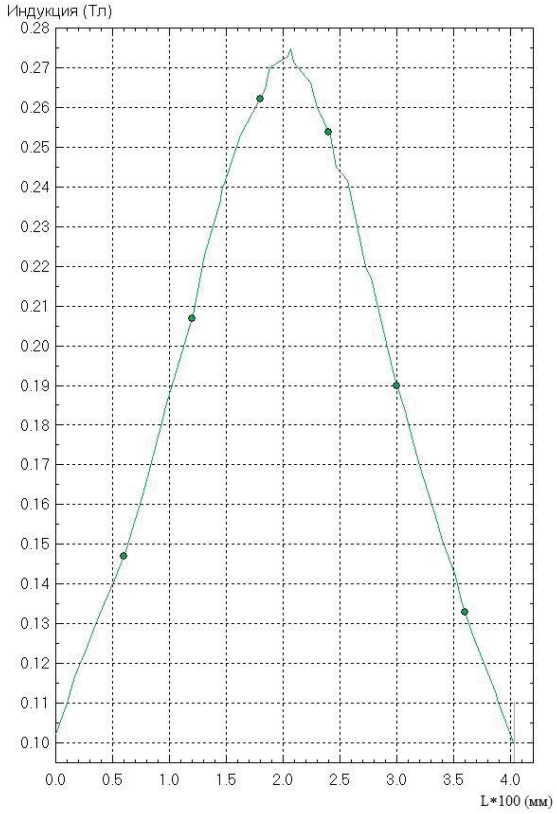


Рис. 6 График индукции П-образного железоотделителя без концентраторов на расстоянии 80 мм

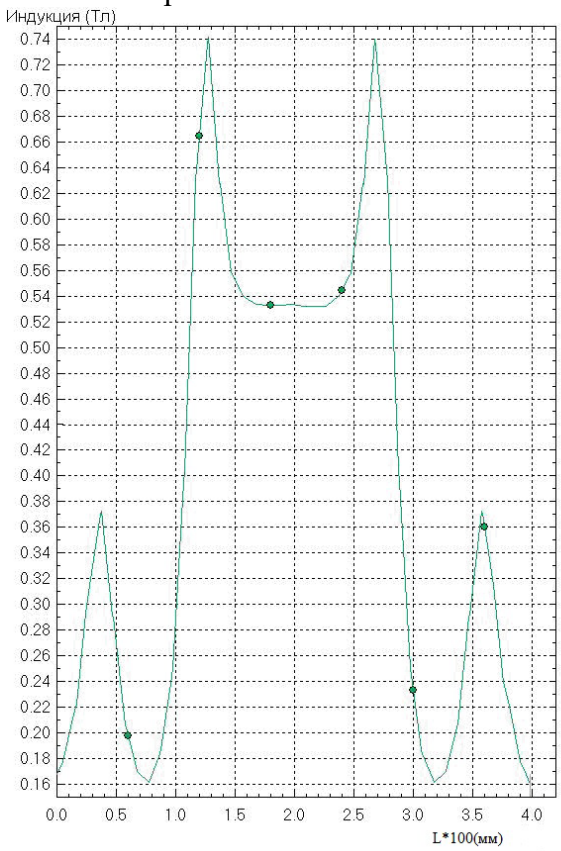


Рис. 7. График индукции П-образного железоотделителя с концентраторами на расстоянии 40 мм

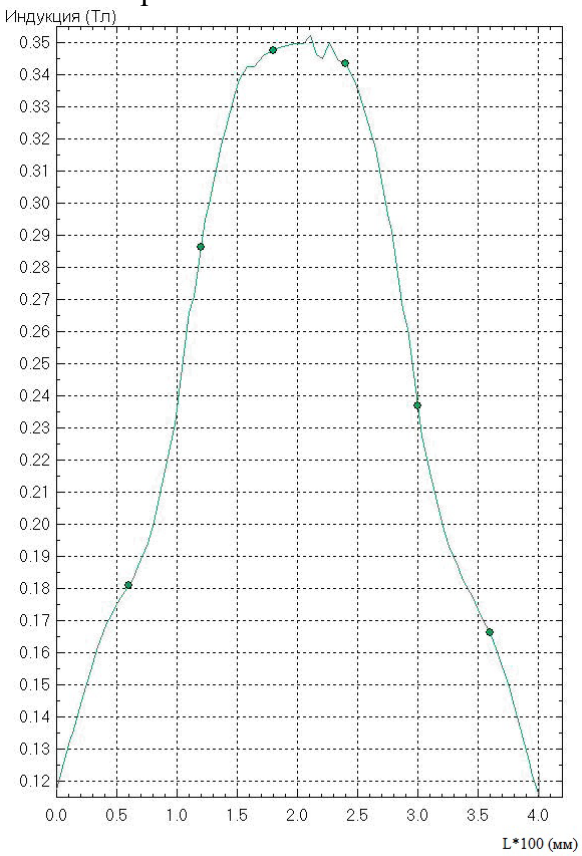


Рис. 8. График индукции П-образного железоотделителя с концентраторами на расстоянии 80 мм

Вывод. Сравнение графиков индукции (рис. 5-8) показывает, что использование гибридной магнитной системы железоотделителя с концентраторами в виде усеченного конуса увеличивает максимумы магнитной индукции в воздушном зазоре на различных расстояниях транспортера от полюсов железоотделителя (40 мм и 80 мм). Так сравнение графиков 5 и 7 показывает максимальную индукцию в воздушном зазоре между полюсами 0,46 Тл и 0,53 Тл (на расстоянии 40 мм от полюсов) и увеличение ее на 15 % для гибридной модели, а сравнение графиков рис. 6 и 8 показывает максимальную индукцию 0,275 Тл и 0,35 Тл (на расстоянии 80 мм от полюсов), увеличение ее на 27%для гибридной модели.

Библиографический список

1. Сумцов, В.Ф. Электромагнитные железоотделители/ В.Ф. Сумцов. – М. Машиностроение, 1978. – 174 с.

2. Demin A.V., Andreeva E.G., Semina I.A. The Study of Electromagnetic Processes and Characteristics Systems with Open Magnetic Core/2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015. – Proceedings 2015. С. http://www.scopus.com./authid/detail.uri?authorID=56825338600

УДК 539.172.17

В.Л. Литневский[1], Г.И. Косенко[1], Ф.А. Иванюк[2]
[1]Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, Россия.
[2] Институт ядерных исследований, г. Киев, Украина.

ОПИСАНИЕ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА РАЗЛИЧНЫХ ИЗОТОПОВ 122 ЭЛЕМЕНТА

Аннотация. Для описания реакций слияния-деления авторами разработана модель, содержащая две стадии расчета. На первой стадии моделируется процесс сближения сталкивающихся ионов. При этом учитываются их деформации и взаимная ориентация в пространстве. Первая стадия расчета позволяет получить сечения касания сталкивающихся ядер, а так же начальные характеристики моносистемы, образовывающейся в точке касания, а именно, распределения событий касания по угловому моменту системы, ее внутренней и потенциальной энергиям. На второй стадии производится расчет эволюции формы моносистемы. Данный расчет позволяет выяснить сечения образования компаунд ядра и остатков испарения, массово-энергетические характеристики осколков деления и квазиделения, а так же множественности испущенных в ходе девозбуждения моносистемы частиц. Проведенные расчеты дают возможность оценить вероятность образования различных изотопов 122 элемента в рассмотренных реакциях с тяжелыми ионами, а так же выбрать оптимальные энергии сталкивающихся ядер.

Ключевые слова: процесс слияния-деления, уравнения Ланжевена, туннельный эффект, остатки испарения, сверхтяжелые элементы.

Введение. Одним из актуальных направлений исследований в современной ядерной физике является синтез и дальнейшее изучение свойств сверхтяжелых элементов (СТЭ). Для синтеза СТЭ применяются реакции с участием тяжелых ионов. На стадии планирования эксперимента исследователь должен определиться с тем, какая реакция будет использована для получения того или иного изотопа СТЭ, а так же при какой энергии будет протекать выбранная реакция. Следует заметить, что результаты эксперимента существенно зависят от начальной энергии сталкивающихся ионов. Бо́льшая часть энергии движения налетающего ядра тратится на преодоление внешнего кулоновского барьера, оставшаяся энергия необхо-

дима для того, чтобы моносистема эволюционировала от точки касания до основного состояния. Если энергии будет слишком мало, то система просто не дойдет до основного состояния. Если же энергии будет слишком много, то система не успеет снять возбуждение путем испарения легких частиц и гамма-квантов. Эволюционируя из основного состояния она легко перейдет через делительный барьер и подвергнется делению.

Целью настоящей работы является отыскание того значения энергии реакции , при котором сечения образования остатков испарения в реакциях ^{64}Ni + ^{244}Pu → $^{308\text{-}x}$122 + xn и ^{58}Fe + ^{248}Cm → $^{306\text{-}x}$122 + xn будут максимальными. Результаты расчетов сечений касания, произведенные с учетом (по методу, описанному в [1]) и без учета эффекта туннелирования сталкивающихся ядер через внешний кулоновский барьер, сравниваются с экспериментальными данными [2].

Модель и обсуждение. Форма системы, состоящей из двух приближающихся друг к другу ядер (первая стадия расчета), как и форма образовавшейся после столкновения исходных ядер системы (вторая стадия расчета), описывается с помощью набора некоторых параметров. Изменение параметров формы системы $\boldsymbol{q}$ и соответствующих им импульсов $\boldsymbol{p}$ на обеих стадиях расчета описывается с помощью уравнений Ланжевена (УЛ) [3]:

$$\dot{q}_\beta = \mu_{\beta\nu} p_\nu ,$$
$$\dot{p}_\beta = -\frac{1}{2} p_\nu p_\eta \frac{\partial \mu_{\eta\nu}}{\partial q_\beta} - \frac{\partial F}{\partial q_\beta} - \gamma_{\beta\nu} \mu_{\nu\eta} p_\eta + \theta_{\beta\nu} \xi_\nu . \qquad (1)$$

Здесь подразумевается суммирование по повторяющимся индексам ν и η, $\gamma_{\beta\eta}$ – фрикционный тензор системы, $\mu_{\beta\eta}$ – тензор, обратный тензору инерции $m_{\beta\eta}$, $F = V_{\text{pot}} - aT^2$ – свободная энергия Гельмгольца. Здесь V_{pot} – потенциальная энергия системы, рассчитанная с учетом ядерной оболочечной структуры [4], T – температура, определяемая из модели ферми-газа: $T= (a\, E_{\text{dis}})^{1/2}$, a – параметр плотности уровней [5], E_{dis} – внутренняя энергия системы. Случайная сила $\theta_{\beta\nu}\xi_\nu$ описывает флуктуации в системе.

Наличие в (1) случайной силы позволяет производить вероятностное описание процесса слияния-деления. То-есть на первой стадии расчета при одних и тех же начальных данных мы получаем распределения параметров системы в точке касания. Аналогичная ситуация имеет место и при описании эволюции моносистемы.

На каждом шаге интегрирования необходимо соблюдение закона сохранения энергии, в соответствии с которым сумма кинетической (E_{kin}=½$p_\nu p_\eta \mu_{\eta\nu}$), потенциальной ($V_{\text{pot}}$) и внутренней ($E_{\text{dis}}$) энергий системы должна равняться начальной энергии сталкивающихся ядер, заданной в системе центра масс (E_{cm}).

Следует заметить, что энергия сталкивающихся ядер E_{cm} связана с энергией возбуждения образовавшейся после касания исходных ядер системы

$$U^* = E_{\text{cm}} - Q, \qquad (2)$$

где Q – энергия выделяющаяся (поглощающаяся) при протекании ядерной реакции. В настоящей работе, для удобства сравнения сечений касания, слияния и образования остатков испарения, результаты приведены с использованием U^*.

При описании процесса столкновения исходных ядер учитываются четыре параметра формы системы (рис. 1): по одному параметру описывают деформацию каждого из ядер [3], один параметр описывает взаимную ориентацию сталкивающихся ядер, четвертый параметр описывает расстояние между центрами масс ядер. Значения этих параметров определяют энергию кулоновского [6] и ядерного [7] взаимодействий сталкивающихся ядер. Подробное описание первой стадии модели приводится в работе [3].

Учет произвольной пространственной ориентации ядра мишени приводит к тому, что высоты кулоновских барьеров, соответствующих разным конфигурациям системы, могут отличаться на 10 ÷ 15 МэВ (рис. 2). Такой широкий диапазон высот кулоновских барьеров делает актуальным учет эффекта туннелирования при любых начальных энергиях сталкивающихся ядер.

Расчет вероятности туннелирования производится в том случае, если система перестает двигаться вдоль координаты *r*, описывающей расстояние между центрами масс сталкивающихся ядер (упирается в потенциальный барьер). В этот момент (в точке поворота) мы фиксируем значения всех параметров формы системы. Проницаемость барьера оценивается в ВКБ приближении [1]:

$$T_L(E) = \left[1 + \exp\left(\frac{2}{\hbar}\int_{r_2}^{r_1}\sqrt{2m(V_{\text{pot}} - E)}dr\right)\right]^{-1}, \qquad (3)$$

где интегрирование производится между точками поворота r_1 и r_2 в подбарьерной области, а $E = V_{pot}(r_1) = V_{pot}(r_2)$. В наших расчетах предполагается, что туннелирование происходит только вдоль координаты *r*, все остальные характеристики системы (формы ядер и их относительная ориентация) замораживаются.

Расчеты показали, что учет туннелирования сталкивающихся ядер через внешний кулоновский барьер (3) значительно улучшает согласие теоретических расчетов с экспериментальными данными (рис. 2). Из рис. 2 видно, что учет туннелирования вносит примерно одинаковый вклад в широком диапазоне энергий, заключенном между стрелочками, направленными вверх и вниз. Эти стрелочки указывают положения кулоновских барьеров, соответствующих энергетически наиболее ($\theta_t = 0$) и наименее ($\theta_t = 90^o$) выгодным ориентациям ядра мишени.

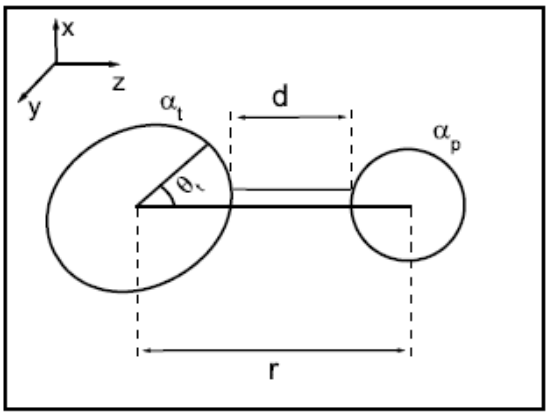


Рис. 1. Схематический вид системы, эволюция которой описывается на первой стадии расчета. Параметры α_t и α_p описывают деформации ядра мишени и ядра снаряда, соответственно. Расстояние между центрами масс ядер описывается параметром *r*, θ_t – угол между осью соединяющей центры масс ядер и осью симметрии деформированного в основном состоянии ядра мишени. Величина d, не является независимым параметром, она описывает расстояние между поверхностями сталкивающихся ядер.

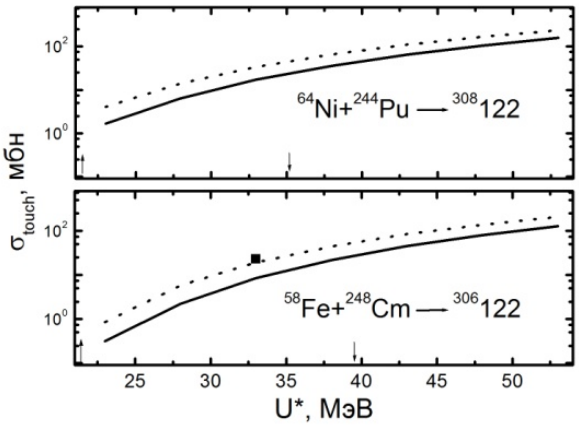


Рис. 2 Зависимость сечений касания σ_{touch} от энергии возбуждения *U** синтезируемого ядра (2). Точечные и сплошные линии – наш расчет с учетом и без учета туннелирования, соответственно. Закрытые квадраты – экспериментальные данные [2]. Стрелочки, направленные вверх, показывают положение кулоновского барьера для энергетически наиболее выгодной ориентации ядра мишени ($\theta_t = 0$), а стрелочки, направленные вниз, показывают положение кулоновского барьера при $\theta_t = 90^O$.

Процесс сближения сталкивающихся ядер описывается до тех пор, пока расстояние между их поверхностями d (рис. 1) не станет равным нулю. В этом случае мы говорим, что ядра достигли точки касания.

В точке касания мы переходим от системы, состоящей из двух сталкивающихся ядер, к моносистеме. При описании формы, образовавшейся после касания исходных ядер системы (вторая стадия расчета), мы учитываем три деформационных степени свободы [8], а именно, удлинение ядра α_4, величину шейки α между двумя его частями (будущими осколками) и соотношение масс частей ядра, разделенных шейкой α_1. Начальные значения данных параметров определяются характеристиками системы в точке касания, полученными входе первой стадии расчета. Условия равенства нулю шейки соединяющей коснувшиеся ядра и массовой асимметрии частей системы относительно шейки, заданной отношением масс столкнувшихся ядер однозначно задают начальные значения параметра величины шейки (α=1) и параметра массовой асимметрии α_1. Значение параметра α_1, определяется условием равенства потенциальной энергии системы, состоящей из двух коснувшихся ядер и потенциальной энергии моносистемы, имеющей нулевую шейку и заданную массовую асимметрию. Подробное описание второй стадии модели приводится в работе [3].

Результаты расчета второй стадии реакций (рис. 3) показали, что для синтеза изотопов 122 элемента наиболее перспективной является реакция $^{58}Fe + ^{248}Cm \rightarrow ^{306-x}122 + xn$, которая имеет максимальные сечения образования остатков испарения при энергиях $U^* = 48 \div 52$ МэВ.

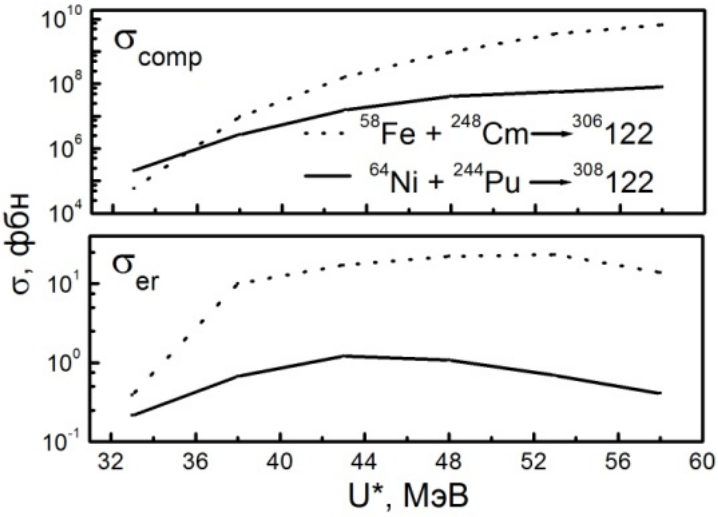


Рис. 3 Зависимость сечений слияния σ_{comp} и образования остатков испарения σ_{er} от энергии возбуждения U^* синтезируемого ядра (2)

Заключение. В работе получены значения сечений касания, слияния и образования остатков испарения в реакциях $^{64}Ni + ^{244}Pu \rightarrow ^{308-x}122 + xn$ и $^{58}Fe + ^{248}Cm \rightarrow ^{306-x}122 + xn$.

Показано, что учет туннелирования одинаково актуален в широком диапазоне энергий сталкивающихся ядер (рис. 2). Выяснены значения энергии, при которых в рассмотренных реакциях получаются наибольшие значения сечений образования остатков испарения различных изотопов 122 элемента (рис. 3).

Библиографический список

1. Nevzorova, T.I. Dynamical calculations of the cross section for heavy-ion fusion with allowance for tunneling / T.I. Nevzorova and G.I. Kosenko // Physics of Atomic Nuclei - 2008. -Vol. 71, -P. 1373-1383.

2. Itkis, M.G. Fission of superheavy nuclei / M. G. Itkis et al. // *Proceedings of the International Symposium on Exotic Nuclei*, edited by Yu. E. Penionzhkevich and E. A. Cherepanov (World Scientific, Singapore) - 2001, -P. 143-157.

3. Litnevsky, V.L. Description of synthesis of super-heavy elements within the multidimentional stochastic model. // V. L. Litnevsky, G. I. Kosenko, F. A. Ivanyuk, V. V. Pashkevich, Phys. Rev. C -2014. -Vol. 89, - P. 034626.

4. Strutinsky, V. M. Shell effects in nuclear masses and deformation energy Nucl. Phys. A - 1967. -Vol. 95, -P. 420-442.

5. Iljinov, A. S. Fenomenological statistical analysis of level densities, decay widths and lifetimes of excited nuclei / A. S. Iljinov [et al.] // Nucl. Phys.A -1992. -Vol. 543, -P. 517-554.

6. Курманов, Р.С. Новый подход к расчету потенциальной энергии сталкивающихся ядер/ Курманов Р.С., Косенко Г.И. // ЯФ -2014. -Т. 77, -С. 1514-1525.

7. Gross, D. H. E. Friction model of heavy-ion collision / D. H. E. Gross, H. Kalinovski // Phys. Rev. -1978. -Vol. 45, -P. 175-210.

8. Pashkevich, V. V. On the asymmetric deformation of fissioning nuclei // Nucl. Phys.A - 1971. -Vol. 169, -P. 275-293.

УДК 621.396

Н.Ю. Малий, И.В. Никонов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия .

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Аннотация. Рассмотрены основные особенности акуммуляторов разных типов для малогабаритной радиоаппаратуры связи. Разработан алгоритм работы многофункционального устройства для тестирования литиевых аккумуляторов.

Ключевые слова: Радиоаппаратура, аккумуляторы, устройство тестирования.

Важной составной частью современной малогабаритной радиоаппаратуры связи являются аккумуляторы. От их качества зависит не только надежность и безопасность связи, но и безопасность работы радиоаппаратуры. К тому же аккумуляторы, изготавливаемые известными фирмами, имеют сравнительно высокую стоимость. Время работы аккумуляторов может быть существенно продлено при правильной эксплуатации, своевременном контроле или тестировании характеристик. К сожалению, зарядные устройства, которые приобретаются отдельно или придаются в комплекте к радиоаппаратуре, это, как правило, примитивные стабилизаторы напряжения без функций контроля и тестирования.

Рассмотрим, какие основные типы аккумуляторов разрабатывались и применялись в последнее время для малогабаритной аппаратуры связи [1]. В последние годы на смену некогда популярным никель-кадмиевым (NiCd) аккумуляторам вначале пришли никель-металлогидридные (NiMH), затем литий-ионные (Li-ion). Теперь же появились еще более современные литий-полимерные (Li-pol) аккумуляторы.

Применение в литиевых акуммуляторах в первых разработках литиевых металлических электродов позволило получить более высокое напряжение для «единичного» акуммуляторного элемента и лучшие энергетические характеристики. Но было обнаружено, что циклическая работа (заряд - разряд) литиевых аккумуляторов приводит к изменениям на литиевом электроде, в результате которых уменьшается тепловая стабильность и появляется угроза выхода теплового состояния из-под контроля. Когда это происходит, температура элемента быстро приближается к точке плавления лития - и начинается бурная реакция с воспламенением выделяющихся газов.

Из-за свойственной литию неустойчивости исследователи начали разрабатывать неметаллические литиевые аккумуляторы на основе ионов лития. В итоге были разработаны более безопасные Li-ion аккумуляторы. Их основные достоинства следующие:

- большая емкость при тех же самых габаритах по сравнению с аккумуляторами на основе никеля и низкий саморазряд;
- высокое напряжение «единичного элемента», примерно в три раза больше, чем у акуммуляторов «предшествующего поколения».
- низкая стоимость обслуживания (эксплуатационных расходов) - результат отсутствия эффекта памяти, требующего периодических циклов разряда для восстановления емкости.

Недостатки.

- для аккумулятора требуется встроенная схема защиты (что ведет к дополнительному повышению его стоимости);
- аккумулятор подвержен старению (как и аккумуляторы других типов), даже если он не используется;
- более высокая стоимость по сравнению с NiCd аккумуляторами;
- серийно выпускаемые тестеры не функциональны и не позволяют проводить тестирование таких аккумуляторов;

Технология изготовления Li-ion аккумуляторов постепенно была улучшена. Уменьшить стоимость и повысить безопасность удалось при разработке литий-полимерных (Li-pol или Li-polymer) аккумуляторов. Основное их отличие от Li-ion заключается в типе используемого электролита. Первоначально применялся сухой твердый полимерный электролит, похожий на пластиковую пленку и не проводящий электрический ток, но допускающий обмен ионами (электрически заряженными атомами или группами атомов). Для того чтобы повысить электропроводность небольших Li-polymer аккумуляторов, в них добавляют некоторое количество гелеобразного электролита.

Итак, как было отмечено вначале, при правильном периодическом тестировании литиевых аккумуляторов, можно существенно увеличить срок их службы. Устройства тестирования разрабатывалась на базе высокоскоростного, восьмиразрядного микроконтроллера PIC16F870, который относится к семейству PIC16F87X. Отдельные этапы работы, в частности выбор необходимых радиокомпонентов, были выполнены ранее и представлены в [2]. Основные радиокомпоненты и функциональные узлы для макета устройства, следующие:

- микроконтроллер;
- генератор тактовых импульсов; блок сброса; блоки фильтра;
-блоки стабилизации напряжения; компаратор напряжения;
- блок коммутации «Пуск» – кнопка SB1; блок коммутации «Qзар» – кнопка SB2;
- блок логики; блок выборки;
- блоки ограничения тока; блоки электронных ключей;
- блок стабилизации тока разрядки; блок коммутации разрядки;
- блок стабилизации тока зарядки; блок коммутации зарядки;
- блок звуковой индикации; блок визуальной индикации.

В данной публикации представлено продолжение работ. В частности, на рис.1 приведен разработанный алгоритм работы устройства на базе микропроцессора.

Функционирование устройства по данному алгоритму следующее.

1. Начало.

2. После подачи напряжения питания происходит инициализация микроконтроллера DD1, т. е. опрос портов ввода-вывода, включение таймера-счётчика, приём в порты данных.

3. Далее микроконтроллер ожидает подключение аккумулятора, после чего нажимается и удерживается кнопка Пуск. Если при нажатии кнопки Пуск раздаётся аварийный сигнал, необходимо проверить правильность подключения аккумулятора и напряжение на нём, а затем отключить питание. Если аварийный сигнал не звучит, происходит начало первичной зарядки стабильным током 0,3А.

4. Измерив параметры напряжения, устройство производит зарядку аккумулятора до 4,29В.

5. Затем происходит разрядка аккумулятора током 0,3А. Разрядка продолжается до тех пор, пока снижение напряжения на аккумуляторе не достигнет значения 2,7В.

6. После этого устройство переходит к окончательной зарядке аккумулятора.

7. Полученные параметры значения ёмкости аккумулятора при разрядке выводятся на блок индикации HG1.

8. При нажатии кнопки $Q_{зар}$ индицируется значение ёмкости аккумулятора при зарядке с блока индикации HG1.

9. Повторное нажатие на кнопку Пуск приводит к обнулению показаний индикатора HG1.

10. Далее необходимо отсоединить проверяемый аккумулятор от устройства.

11.Конец.

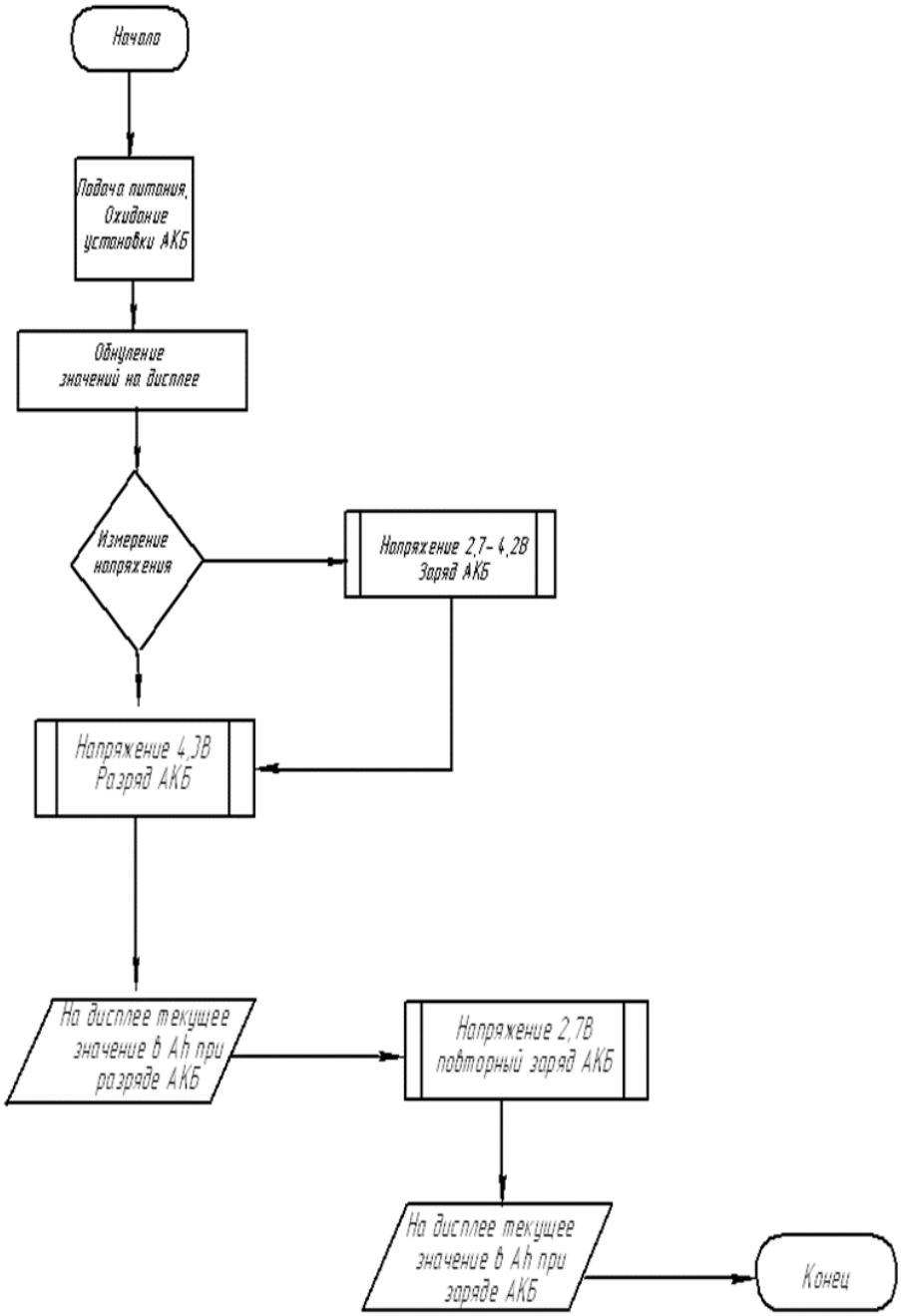


Рис. 1 Алгоритм работы устройства

Библиографический список

1. Кашкаров А.П. Аккумуляторы. Справочное пособие/ А.П., Кашкаров // Изд.: Радио Софт, 2014.- 186с.

2. Котов А.А. Разработка устройства контроля и тестирования литий-ионных аккумуляторов / А.А., Котов, И.В. Никонов// Наука, образование, бизнес: матер. Всероссийской науч. практ. конф., посвященной 15-летию ИРСИД.- Омск: изд-во полигр. центр КАН, 2012.- С. 260-263

УДК 537:621.317.33

В.А. Неупокоев[1], *С.В. Данилов*[2], *В.А. Егорова*[2]
[1]БОУ «СОШ №126», г. Омск, Россия
[2]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация. Определение величины неизвестного сопротивления резистора – частая практическая радиотехническая задача. В данной работе рассматриваются особенности применения основных практических методов определения величины неизвестного электрического сопротивления резистора; предлагается метод оценки неизвестного сопротивления постоянному току в случаях, когда в распоряжении экспериментатора имеется только один простейший измерительных приборов: вольтметр или амперметр; определены границы применимости метода.

Ключевые слова: резистор, омическое сопротивление, постоянный ток, электричество, амперметр, вольтметр

Резисторы – элементы электронной аппаратуры, используемые практически во всех электрических и электронных устройствах. Основное назначение резистора – создание в электрической цепи необходимой величины электрического сопротивления [1, 2]. Требуемое омическое сопротивление – важный показатель исправности и качественной работы электрических цепей и элементов радиодеталей, например, соединительных проводов, обмоток, коммутирующих устройств [3, 4]. Использование резисторов с правильно подобранными значениями сопротивлений обеспечивает качественную и стабильную работу электронных устройств и цепей.

В радиотехнической практике часто возникает необходимость определения неизвестного сопротивления постоянному току. Для этого используются основные методы определения сопротивления: метод непосредственной оценки, мостовой и косвенный методы [5-8].

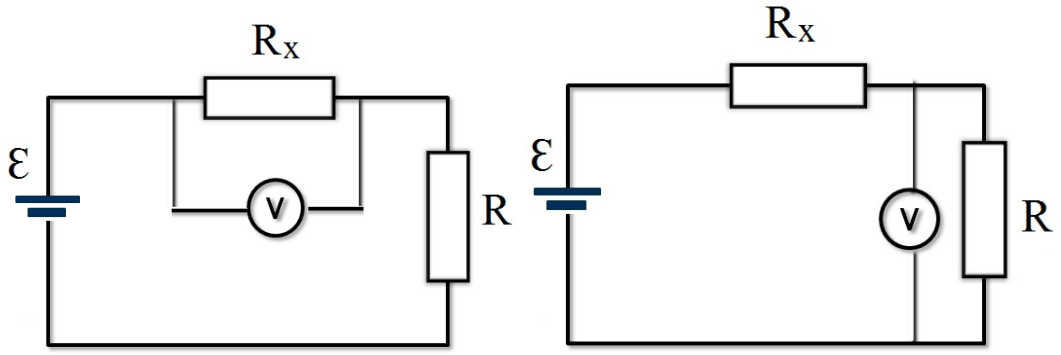
Первый метод – непосредственное измерение величины сопротивления резистора при подключении к нему омметра. Этот способ прост в реализации, но имеет ограниченное применение в виду низкой точности используемых приборов. Чаще всего он применяется для предварительной приблизительной оценки величины неизвестного сопротивления.

Мостовой метод – это метод сравнения измеряемого сопротивления резистора с эталонным. Он обладает малой погрешностью, но требует высокой точности подбора сопротивлений постоянных резисторов плеч моста и момента фиксации достижения равновесия, что значительно усложняет применение данного метода. Также на результат определения величины искомого сопротивления влияет способ установления переменного сопротивления. Применение этого метода требует использования нескольких резисторов с известным сопротивлением.

Из косвенных методов наиболее универсальным является «Метод амперметра-вольтметра». Измерение силы тока, протекающего через резистор с искомым сопротивлением, и напряжения на резисторе позволяет рассчитать величину сопротивления резистора. Этот простой метод также имеет недостатки: точность измерений ограничивается классом точности измерительных приборов и методической погрешностью, возникающей из-за сопротивления этих приборов.

Для практической оценки величины неизвестного сопротивления элемента цепи в ситуации, когда в распоряжении экспериментатора имеется резистор с известным сопротивлением и один простейший измерительный прибор: вольтметр или амперметр, предлагается использовать следующий сравнительный метод.

При использовании с указанной целью вольтметра необходимо последовательно с резистором с неизвестным сопротивлением подсоединить резистор с известным сопротивлением и измерить либо напряжение на каждом из резисторов (рис. 1), либо общее напряжение на двух резисторах (рис. 2а) и напряжение на известном сопротивлении (рис. 2б).

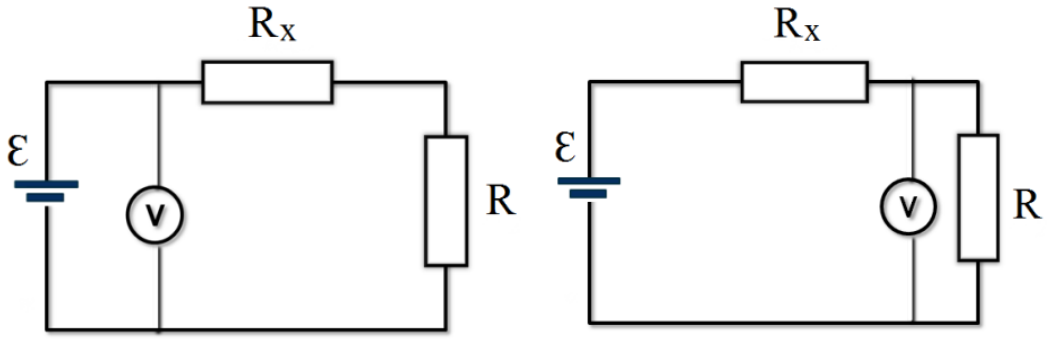


а б

Рис.1 Схема измерения напряжения:
а – U_x на неизвестном резисторе R_x; б – U_R на резисторе с известным сопротивлением R

В первом случае (рис. 1) неизвестное сопротивление может быть найдено по результатам измерений:

$$Rx = R\frac{U_x}{U_R}$$



а б

Рис.2 Схема измерения:
а - общего напряжения $U_{об}$; б - напряжения на резисторе с известным сопротивлением U_R

Во втором случае (рис. 2) неизвестное сопротивление может быть найдено по результатам измерений:

$$Rx = R\left(\frac{U_{об}}{U_R} - 1\right)$$

При использовании для определения неизвестного сопротивления участка электрической цепи только амперметра необходимо параллельно с резистором с неизвестным сопротивлением подсоединить резистор с известным сопротивлением и измерить либо силу тока в каждом резисторе (рис. 3), либо силу тока в резисторе с известным сопротивлением и общую силу тока (рис. 4).

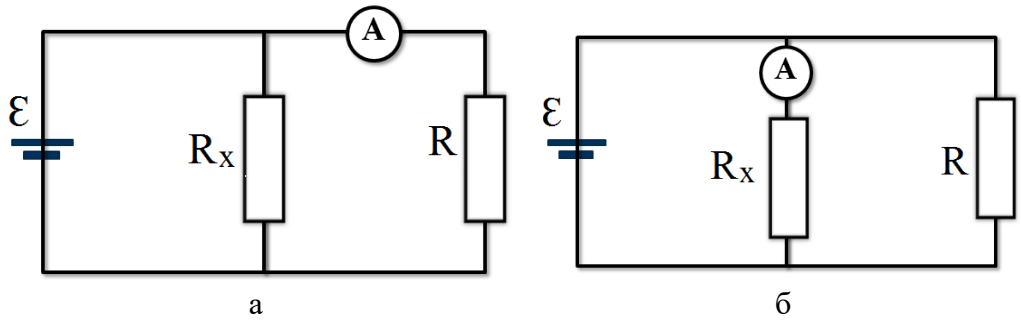


Рис.3 Измерение силы тока в каждом резисторе:
а - в резисторе R – I_R.; б - в резисторе R_x - I_x

В первом случае (рис. 3) неизвестное сопротивление может быть найдено по результатам измерений силы тока I_R и I_x:

$$Rx = R\frac{I_R}{I_x}$$

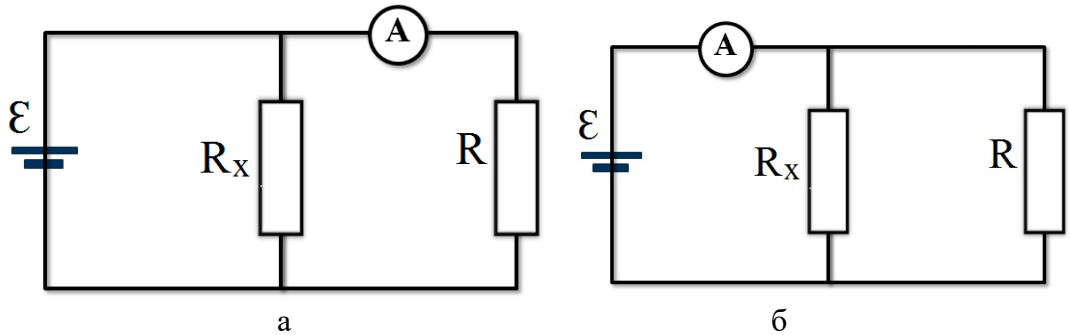


Рис. 4 Измерение силы тока:
а - в резисторе с известным сопротивлением I_R; б - и общую силу тока I

При параллельном соединении резисторов (рис. 4) напряжение на резисторе с известным сопротивлением совпадает с общим напряжением на резисторах. Тогда, используя измеренные величины и закон Ома для однородного участка цепи получим равенство:

$$I_R R = I\frac{R \cdot R_x}{R + R_x}$$

Отсюда следует, что неизвестное сопротивление может быть найдено по результатам измерений:

$$Rx = \frac{I_R \cdot R}{I - I_R}$$

При определении величин неизвестных сопротивлений всеми указанными методами были получены значения, совпадающие в пределах погрешности измерения. При этом основная погрешность связана с неточностью в задании известного сопротивления R и увеличивается при большой разнице в величинах R и R_x. Наилучшие результаты были получены

при использовании вместо R магазина сопротивлений. Тогда в схемах на рис.1 или рис.3 необходимо сначала измерить напряжение (силу тока) на резисторе с неизвестным сопротивлением, а затем, переключившись на магазин сопротивлений, подобрать на нем сопротивление, при котором напряжение (сила тока) будет таким же, как на резисторе с неизвестным сопротивлением. При этом получаем $R_x = R$. При такой методике погрешность измерения определяется классом точности измерительного прибора. Проведенные измерения показали, что если использовать цифровой прибор, дающий три значащие цифры измеряемой величины, то погрешность определения R не превышает 1% и сравнима с погрешностью мостового метода.

В ходе работы установлено:

1. данный метод оценки сопротивлений дает минимальную погрешность, если величины известного и неизвестного сопротивлений отличаются не более, чем на порядок;

2. погрешность метода определяется в основном погрешностью задания величины известного сопротивления;

3. для универсального использования данного метода с погрешностью не более 1,0 % следует вместо резистора с известным сопротивлением использовать магазин сопротивлений.

Библиографический список

1. Калашников С. Г. Электричество. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 624 с.
2. Данилов С.В. Электростатика и постоянный ток: конспект лекций / С. В. Данилов; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Омский гос. технический ун-т". Омск, 2009. – 59 с.
3. Харкевич А. А. Основы радиотехники. – 3-е изд., стер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 512 с.
4. Шмаков С. Б. Практическая энциклопедия радиолюбителя / С. Б. Шмаков, Д. А. Андреев, А. В. Белов и др.; под ред. С. Л. Корякина-Черняка – М.: Наука и техника, 2016. – 414 с.
5. Мелентьев В.С. Методы и средства измерения параметров электрических цепей на постоянном токе / В. С. Мелентьев; М-во образования и науки Рос. Федерации, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Самар. гос. техн. ун-т". Самара, 2004. – 120 с.
6. Казаков В. Д. Измерение параметров электрических и радиоэлектронных цепей. электрические измерения неэлектрических величин / В. Д. Казаков, А.В. Царева – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та Число, 2005. – 59 с.
7. Шутов В. П. Эксперимент в физике. Физический практикум / В. П. Шутов, В. Г. Сухов, Д. В. Подлесный.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 184 с.
8. Маркарянц Л.М . Электрические измерения /Маркарянц Л.М., Лавров В.И., Маликов А.Н. Учебно-методическое пособие — Брянск, 2012. – 52 с.

УДК 538.975

И.С. Позыгун, Г.М Серопян, С.А. Сычев
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия.

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ YBCO/AU/STO

Аннотация. Методом лазерного напыления на золотом буферном подслое формируется сверхпроводящая пленка с высокой токонесущей способностью. Необходимость создания надежных контактных площадок к сверхпроводящим пленкам обусловлена возможностью изготовления из них элементов сверхпроводниковой электроники. Проведенные исследования сверхпроводящих и других физических свойств системы YBCO/Au/STO показали, что золотая пленка обладает высокой адгезией к подложке, а контакт между Au пленкой и YBCO

пленкой имеет низкое электрическое сопротивление, сравнимое с сопротивлением золотой пленки. Кроме того, разработана технология выращивания на буферном золотом подслое YBCO пленок, имеющих сверхпроводящие свойства, что улучшает качество контакта и расширяет область применения сверхпроводящих YBCO пленок. Оптимизация технологии выращивания Au и YBCO/Au пленок проведена за счет уточнения таких технологических параметров как температура подложки и мишени, давление в напылительной камере, режим отжига после напыления, геометрия напыления, плотность мощности лазерного излучения и др. Испытания показали, что параметры YBCO/Au пленок стабильны при их эксплуатации, термоциклировании и хранении.

Ключевые слова: импульсный лазер, лазерное напыление, сверхпроводящая пленка, золотые контактные площадки, адгезия.

В настоящее время существуют различные способы формирования контактных площадок к тонким $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) пленкам для электрической связи тонкопленочных элементов сверхпроводниковой электроники с электронной навеской. Традиционно металлические контактные площадки к YBCO пленкам наносятся поверх пленок [1, 2]. Однако такая технология изготовления контактных площадок имеет существенный недостаток, состоящий в том, что при нанесении контактных площадок сверхпроводящая YBCO пленка подвергается температурному воздействию в условиях вакуума, приводящему к кислородному обеднению материала пленки и разрушению сверхпроводимости приповерхностной области. Это связано со структурным переходом орто-тетра в YBCO. Для поддержания оптимального значения кислородного индекса применяется, например, плазменное травление поверхности YBCO непосредственно перед нанесением контактной металлической площадки с целью удаления деградированного слоя. После нанесения контактов образцы подвергаются дополнительному термическому отжигу в атмосфере кислорода. Несмотря на хорошие результаты, достигнутые с применением ионно-плазменной очистки поверхности, такая очистка сопровождается разрушением сверхпроводимости в приповерхностном слое толщиной несколько нанометров из-за разрыва Cu-O связей и диффузии кислорода. Более эффективный метод очистки – катодное распыление поверхности – также не приводит к полному удалению деградированного слоя.

Для изготовления контактных площадок к YBCO материалам подходят металлы, у которых энергия связи меньше, чем у Cu-O. К таким металлам относятся: Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au, Hg. Другие металлы активно взаимодействуют с материалом YBCO, образуя слабопроводящие или непроводящие слои. Например, в работе [1] проводились исследования с $CeO_2/YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ тонкими пленками, выращенными на Al_2O_3 подложках диаметром около 5 см. Толщина пленок системы YBCO/Au составила 300 нм и 150 нм соответственно, а плотность критического тока 3,1 МА/см^2. Сопротивление системы YBCO/Au оказалось в 140 раз ниже сопротивления YBCO слоя.

Все применяемые контактные материалы можно разделить на следующие группы: благородные металлы и их сплавы (серебро, золото, металлы платиновой группы и сплавы на их основе), неблагородные металлы и сплавы на их основе, металлокерамические композиции [3]. Для слаботочных контактов применяют золото, родий, палладий, платину и их сплавы; для среднеточных – палладий, платину, серебро, вольфрам, никель и их сплавы; для сильноточных – серебро, вольфрам, никель, медь, их сплавы и металлокерамические композиции, а также ртуть и графит. При малых контактных нагрузках и коммутировании малых токов условия работы контактов очень сложны, и им удовлетворяют только сплавы на основе платины, палладия и золота. Золото обладает высокими электро- и теплопроводностью, устойчивостью против коррозии, не окисляется и не образует окисных пленок, имеет низкое и стабильное переходное сопротивление в различных атмосферных условиях при нормальной, повышенной и пониженной температурах.

В работе [4] для обеспечения лучшего контакта при включении сверхпроводникового устройства в электрическую схему сверхпроводящие электроды напыляются поверх подслоя

из золота или платины. Основными недостатками данного способа являются следующие: 1) золотые или платиновые контактные площадки наносятся на диэлектрическую подложку термическим напылением при температуре 1700–1800 °С, что не обеспечивает необходимой адгезии золотой или платиновой пленки с диэлектрической подложкой; 2) сверхпроводящие транспортные свойства YBCO пленок на границе металл-сверхпроводник подавлены и плотность критического тока не превышает 10^3 А/см^2, что приводит к относительно быстрой деградации сверхпроводящих свойств при хранении и эксплуатации сверхпроводящих датчиков из-за формирования несверхпроводящих межзеренных прослоек в материале YBCO пленки.

В данной работе представлен способ формирования методом лазерной абляции на золотом буферном подслое сверхпроводящих тонких YBCO пленок с высокими токонесущими свойствами, обеспечивающими значения плотности сверхпроводящего критического тока не ниже 10^5 А/см^2, характерное для качественных межзеренных границ в материале YBCO пленки. Высокое значение плотности критического тока повышает устойчивость системы сверхпроводник-золото к деградации. Кроме того, данный способ позволяет формировать золотую контактную площадку толщиной до 500 нм, что достаточно для надежной термокомпрессионной сварки внешних электродов.

В работе использовалась экспериментальная установка с напылительной вакуумной камерой и мощный импульсный лазер Nd:YAG с длиной волны излучения 1,06 мкм, длительностью импульса 16 нс и частотой повторения импульсов 10 Гц. Золотая контактная площадка формируется на диэлектрической подложке $SrTiO_3$ (STO) методом лазерного напыления. Плотность мощности лазерного излучения на поверхности золотой мишени при импульсной энергии 0,5 Дж составляет $4 \cdot 10^9$ Вт/см^2. Лазерный луч падает на золотую мишень, пройдя через фокусирующую линзу и кварцевое окно вакуумной камеры. Распыляемый материал золотой мишени осаждается на диэлектрическую подложку через нихромовую маску с требуемой геометрией рисунка. Нихромовая маска фиксируется на расстоянии 0,3-0,5 мм от подложки, как показано на рис. 1. Подложка с маской устанавливается на расстоянии 4-6 мм от золотой мишени рабочей поверхностью к ней. В вакуумной камере устанавливается давление 0,1-0,5 Па, что обеспечивает необходимый размер и форму плазменного факела. Производится нагрев мишени и подложки до температуры 450-500 °С. После процесса напыления производится напуск воздуха в вакуумную камеру до нормального атмосферного давления и остывание образца до комнатной температуры.

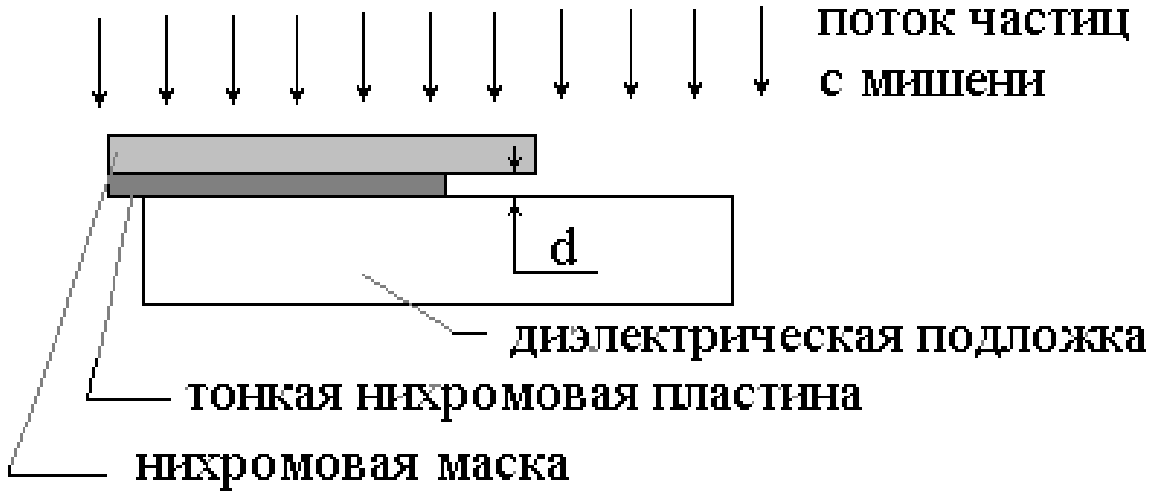


Рис. 1 Схема напыления золотой пленки

Высокая адгезия контактной площадки достигается за счет глубокого внедрения высокоэнергичных частиц лазерной плазмы в материал подложки [5]. Зазор между маской и подложкой позволяет сформировать золотую пленку переменной толщины, как показано

на рис. 2. В области тени происходит плавное падение толщины золотой пленки от 500 нм до нуля, как показано на рис. 3. Ширина этого участка составляет несколько десятков микрометров и варьируется степенью прилегания маски.

Рис. 2 Схема формирования золотой пленки переменной толщины.

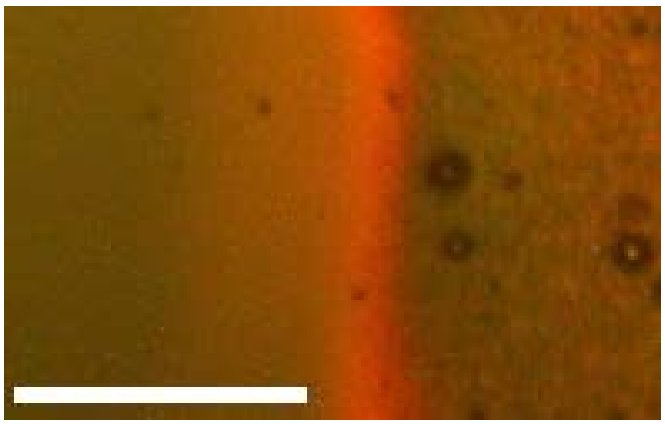
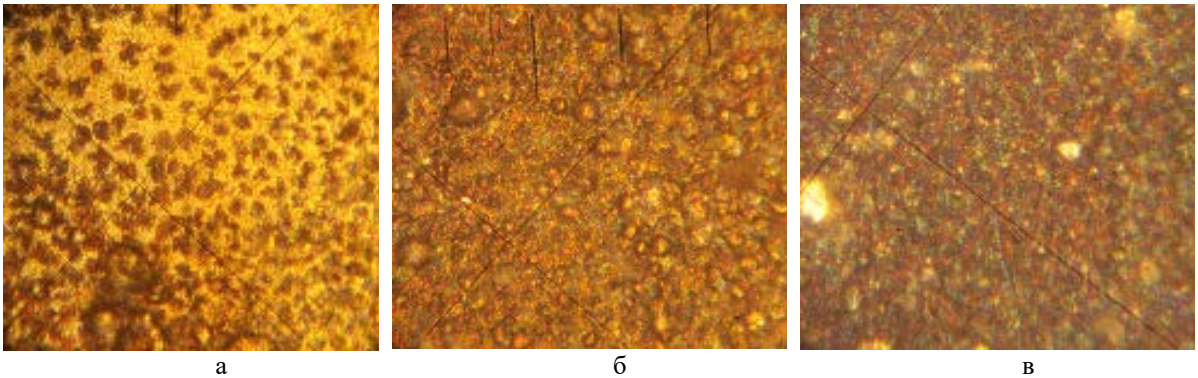


Рис. 3 Золотая пленка переменной толщины. Слева – чистая подложка, справа – участок Au пленки толщиной 500 нм, в середине – участок Au пленки переменной толщины. Длина метки 50 мкм.

Далее на подложке с золотой пленкой методом лазерного напыления выращивается сверхпроводящая YBCO пленка для формирования системы YBCO/Au/STO. Участки золотой пленки, предназначенные для сварки золотых контактных проволок, закрываются нихромовой маской, как показано на рис. 4. При напылении YBCO пленок устанавливаются температура подложки 820 ^{o}C, температура мишени 600 ^{o}C, давление в вакуумной камере около 70 Па, расстояние мишень-подложка 25-30 мм. Плотность мощности лазерного излучения на поверхности YBCO мишени равна $5{\cdot}10^{8}$ Вт/см^{2}. После процесса напыления производится напуск воздуха в вакуумную камеру до нормального атмосферного давления и остывание образца до комнатной температуры по заданному режиму.

Рис. 4 Схема формирования системы YBCO/Au/STO.

На тонких участках золотой пленки формируется сверхпроводящая пленка толщиной 50-200 нм, имеющая достаточно высокие сверхпроводящие параметры: критическая температура сверхпроводящего перехода $T_c \approx$ 88-89 К, ширина сверхпроводящего перехода $\Delta T \approx$ 2-3 К, плотность критического тока $J_c \approx 10^5$ А/см^2. На рис. 5 представлены микрофотографии зарождения на тонкой золотой пленке островков YBCO пленки (а), их слияние (б) и дальнейший рост сплошной YBCO пленки (в). Переходное электрическое сопротивление контакта сравнимо с сопротивлением золотой пленки и составляет значение 10^{-3} Ом через площадь 1 мм^2.



а б в

Рис. 5 Микрофотографии YBCO пленки на тонкой золотой пленке.

По нашему мнению, высокие значения сверхпроводящих параметров, в особенности плотности критического тока, указывают на эпитаксиальный рост YBCO пленки на золотой пленке, что, в свою очередь, является следствием эффекта дальнодействия (способность монокристаллических подложек влиять на ориентацию напыляемых тонких пленок через буферные слои различных веществ). Причиной дальнодействия при данных значениях толщины буферной золотой пленки могут служить упругие напряжения между подложкой и буферным слоем [6], образуя напряженные области с определенным распределением упругой энергии, в том числе с изменением плотности упругой энергии в зависимости от угла ориентации. Для примера, на рис. 6. представлена фотография YBCO пленки с золотыми контактными площадками.

Рис. 6 YBCO пленка с золотыми контактными площадками.
Ширина контактной площадки 1 мм.

Библиографический список

1. Peroz C. Current limitation properties of YBCO/Au thin films [Текст]/ C. Peroz, C. Villard, D. Buzon and P. Tixador. // Supercond. Sci. Technol. – 2003. – № 16. – P. 54-59.

2. Liu D. Epitaxial growth of biaxially oriented YBCO films on silver [Текст]/ D. Liu, M. Zhou, X. Wang, H. Suo, T. Zuo, M. Schindl and R. Flukiger // Supercond. Sci. Technol. – 2001. № 14. P. 806-809.

3. Пятин Ю. М. Материалы в приборостроении и автоматике [Текст]/ Ю. М. Пятин // М.: Машиностроение. – 1982. – 528 с.

4. Сверхпроводящий квантовый интерференционный датчик и способ его изготовления: пат. 2133525 Рос. Федерация: МПК H01L39/22, H01L39/24, G01R33/035/ Югай К.Н.; Скутин А.А.; Муравьев А.Б.; Сычев С.А.; Югай К.К.; Лежнин И.В; заявитель и патентообладатель Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского. - 97117338/25; заявл. 21.10.1997; опубл. 20.07.1999.

5. Серопян Г. М. Формирование золотых контактных площадок к сверхпроводящим пленкам методом лазерной абляции [Текст]/ Г. М. Серопян, И. С. Позыгун,С. А. Сычев, Д. В. Федосов // Журнал технической физики. – 2015. – Том 85. - Вып. 2. – С. 150-152.

6. Иевлев В. М. Структурные превращения в тонких пленках [Текст]/ В. М. Иевлев, Л. И. Трусов, В. А. Холмянский // М.: Металлургия. – 1982. – 248 с.

УДК 372.853

Б. А. Рахимбаева 1,М. П. Ланкина[2]
[1]Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан
[2]Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия.

ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТА КАК ЭЛЕМЕНТ ИНТЕРАКТИВНОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ПО ФИЗИКЕ

Аннотация. В статье представлены некоторые рекомендации по созданию, функции и примеры создания интеллект-карт по теории Тони Бьюзена в интерактивных учебных пособиях по физике для гуманитарного профиля 12-летней школы на основе концепции интерактивного обучения. Применение теории интеллект-карт Т. Бьюзена позволяет представлять теоретический контент системно, содержательно и визуализировано. Интеллект-карты в интерактивных учебных пособиях можно использовать не только при объяснении и закреплении учебного материала, но и для самостоятельной работы.

Ключевые слова: интеллект-карта, теория Тони Бьюзена, интерактивное учебное пособие, физика, гуманитарный профиль, 12-летняя школа, контент.

Интерактивные учебные пособия (ИУП) в настоящее время являются материалами обучения, познания; их структура и контент находятся в прямой зависимости от целей и задач их применения. Для разработки ИУП по физике для гуманитарного профиля 12-летней школы на основе концепции интерактивного обучения необходимо подобрать теоретический материал, задачи, задания и упражнения для интерактивных заданий с учетом нагрузки по физике. В связи с малым количеством часов на преподавание физики по данному профилю для более глубокого и полного усвоения программы физики, знания алгоритма решения задач необходимо ориентироваться на самостоятельное изучение материала обучающимся. Поэтому в ИУП теоретический материал должен быть представлен лаконично, но должно содержаться множество интерактивных заданий различного характера: обучающие, тренировочные, тестовые и др.

«Так как образование является одним из важнейших приоритетов Стратегии Казахстана до 2020 года, Министерство образования и науки Республики Казахстан одобряет и предлагает 12-летнюю систему образования, состоящую из трех уровней, по которой в настоящее время проводятся эксперименты: 1 уровень – начальное образование (1–4 классы), продолжительность обучения составляет 4 года; 2 уровень – базовое среднее образование (5–10 классы), продолжительность обучения составляет 6 лет; 3 уровень – профильное образование (11–12 классы), продолжительность обучения составляет 2 года» [1].

В связи с планированием перехода на 12-летнее образование в Казахстане в 11-12 классах обучение проводится по двум направлениям: общественно-гуманитарному (ОГН) и естественно-математическому (ЕМН). Обучение физике по ОГН в 11-12 классах обязательно, но

ограничено в часах – 1 час в неделю. Таким образом, обучение физике несет более поверхностный характер, теряются навыки решения задач и т.д. В сельских школах особенно остро стоит проблема с наполняемостью классов, и если большинство учащихся выбрало ОГН по физике, то учащиеся, желающие поступить в вуз технического направления, при таком выборе теряют эту возможность.

Многие авторы, в частности, И.А. Еропов [2], говорят о том, что компьютерные технологии в значительной степени расширяют диапазон образовательных возможностей, которые способны коренным образом изменить организацию учебного процесса в старших классах. Это возможно при условии, если компьютерные технологии станут не дополнительным «довеском» в обучении, а неотъемлемой частью целостного образовательного процесса, значительно повышающей его эффективность.

Для эффективной интеграции компьютерных технологий в учебный процесс необходимо серьезное психолого-дидактические обоснование. Поэтому проанализируем психолого-педагогические теории, используемые при создании ИУП. Рассмотрим в нашей статье теорию Тони Бьюзена по радиантному мышлению и интеллект-картам. Автор подчеркивает, что по мере роста учебной нагрузки человеческий мозг сталкивается с «высокими требованиями к мышлению, творческому подходу, памяти, умению решать задачи, анализировать и "сочинять" в ходе письменных работ» [3].

Как известно, для создания интеллект-карты необходимо использовать шесть законов, которые делятся на два вида: законы содержания и оформления, законы структуры [4].

Законы содержания и оформления предполагают:

- использование эмфазы (от греч. emphasis - выразительность);
- ассоциирование;
- ясность в выражении мыслей;
- выработку собственного стиля.

Законы структуры сводятся к:

- соблюдению иерархии мыслей;
- использованию номерной последовательности в изложении мыслей.

Т. Бьюзеном конкретизированы первые три закона. Его рекомендации по применению эмфазы:

- использование центрального образа;
- использование графических образов;
- для центрального образа использовать три и более цветов;
- чаще придавать изображению объём, а также использовать выпуклые буквы;
- пользоваться синестезией;
- выбор размеров букв, толщины линий и масштаба графики;
- оптимальное размещение объектов на интеллект-карте;
- соблюдать расстояние между объектами на интеллект-карте.

Ассоциирование по Бьюзену предполагает использование:

- стрелок, для демонстрации связей между объектами интеллект-карты;
- цвета;
- кодирования информации.

Закон ясности в выражении мыслей основывается на применении:

- одного ключевого слова на каждую линию;
- печатных букв;
- размещения ключевых слов над соответствующими линиями (длина линии примерно должна быть равна длине ключевого слова)
- соединения линии с другими линиями (главные ветви карты должны соединяться с центральным образом, главные линии должны быть плавными и более жирными);
- разделение блоков главной информации линиями;
- расположения слов горизонтально.

Таким образом, используя законы создания интеллект-карты, придерживаясь рекомендаций к законам, применяя разнообразные средства для подчёркивания свойств объектов, отраженных в интеллект-карте, преподаватель, обучающийся и любой другой человек может выстраивать свой стиль создания интеллект-карты по определённой теме.

Т. Бьюзен подчёркивает: «Пусть вашей интеллект-карте не хватает ясности или привлекательности, она по-прежнему является точной записью мыслительных процессов, происходивших у вас в мозгу во время её составления»[3].

В нашем понимании «интеллект-карта» будет представлять системный материал по изучаемой теме. Например, проиллюстрируем применение интеллект-карты в ИУП по физике при обобщении материала либо используя ее как опорную карту при объяснении материала по разделу курса физики «Основы квантовой теории света». Подобные интеллект-карты может составлять каждый обучающийся после изучения темы (рис. 1).

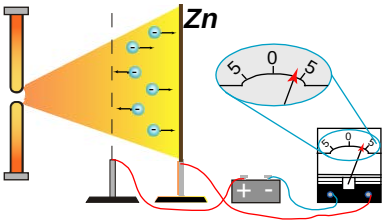
КВАНТ – ПОРЦИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ
ФОТОН – ЧАСТИЦА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

Энергия $E = h\upsilon$

Масса $m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\upsilon}{c^2}$

Импульс $p = \frac{h\upsilon}{c}$

ФОТОЭФФЕКТ – ЯВЛЕНИЕ ВЫРЫВАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ ВЕЩЕСТВА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



$$h\nu = A + \frac{mV^2}{2}$$

I. Сила тока насыщения прямо пропорциональна мощности светового излучения, падающего на поверхность тела.

II. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от мощности светового излучения.

III. Если частота света меньше некоторой определенной для данного вещества минимальной частоты, то фотоэффект не происходит.

КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА
Свет проявляет одновременно волновые и квантовые свойства.
ПРИРОДА СВЕТА ЕДИНАЯ - **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ**

Рис. 1 Интеллект-карта по разделу физики «Основы квантовой теории света»

Также, используя интеллект-карты, можно обобщать материал по изученной теме через хронологию достижений в области физики по определенному разделу физики (рис. 2).

Конец XVII		*Р. Гук*	Попытка введения волновой природы света рассматривала свет как волновой процесс, подобный механическим волнам
Конец XVII		*И. Ньютон*	Зарождение корпускулярной теории света Ньютон считал, что движение световых корпускул подчиняется законам механики.
Начало XIX в.		*Т. Юнг*	Исследование явлений интерференции и дифракции света
60-е годы XIX века		*Дж. Максвелл*	Установил общие законы электромагнитного поля, которые привели его к заключению, что свет – это электромагнитные волны.
1988 г.		*А. Столетов*	Исследования в области фотоэффекта. Вывод законов фотоэффекта.
1900		*М Планк*	Введение понятия кванта света
1905 г.		*А. Эйнштейн*	Введение понятия фотона

Рис. 2 Интеллект-карта по развитию представлений о природе света

Проиллюстрируем законы составления интеллект-карт с помощью рис. 1. На нашей интеллект-карте использованы законы использования эмфазы (использование графических образов, различных цветов, размеров шрифтов, объема изображений, синестезии, оптимального размещения элементов), ассоциирования (применение кодирования информации – формул, которые также выделены цветом), ясность выражения мыслей и свой стиль оформления интеллект-карт в ИУП, соблюдение иерархии мыслей, каждое ключевое понятие выделено.

Данный пример интеллект-карты позволяет систематизировать материал по теме дисциплины и подчеркнуть наиболее важную информацию.

Применение теории интеллект-карт Т. Бьюзена позволяет представлять теоретический контент ИУП компактно, емко и содержательно. Их можно использовать не только при объяснении материала, но и при закреплении, а также для самостоятельной работы. ИУП позволяет изучать физику и в самостоятельном режиме. Самостоятельная работа обучающегося является целенаправленным изучением им учебного материала вне учебных занятий, развитие и совершенствование их когнитивных (способность личности для адекватного и глубокого познания окружающего мира), информационных (владение информационными технологиями, умение работать со всеми видами информации) и автономизационных (быть способными к саморазвитию, к самоопределению, самообразованию, конкурентоспособности) компетенций.

Библиографический список

1. Парманкулова П.Ж., Елтаев А. К вопросу о переходе на 12-летнее обучение в Республике Казахстан // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3-3. – С. 609-612.

2. Еропов И. А. Развитие компьютерной компетентности старшеклассников в современной школе: технологический подход // Вестник Владимирского государственного университета им. А. Г. И Н. Г. Столетовых. Серия: Педагогические и психологические науки. – 2015. – № 22 (41). – С. 110-114

3. Бьюзен Т. и Б. Супермышление / Т. и Б. Бьюзен; пер. с англ. Е.А. Самсонов. 4 - е изд. – Мн.: Попурри, 2007. –115 с.

4. http://bershadskiy.ru/index/metod_intellekt_kart/0-32

УДК 621.317

Д.Н. Родионова, А.И. Щелканов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ПОРТАТИВНЫЙ ЦИФРОВОЙ ГИГРОМЕТР

Аннотация. Рассмотрены вопросы создания портативного цифрового измерителя влажности, предназначенного для применения в условиях приборостроительного производства, связанного с монтажем интегральных микросхем в BGA-корпусах, особенно критичных к остаточной влажности. Дана оценка метрологических характеристик.

Ключевые слова: датчик относительной влажности, датчик температуры, BGA,, микроконвертер.

По мере увеличения сложности современных микросхем растет число контактов ввода/вывода, которые приходится размещать во все меньших по размеру корпусах для удешевления стоимости электронных изделий в целом. Эти процессы миниатюризации и усложнения и привели к появлению корпусов типа BGA (от английского Ball Grid Array – массив шариковых выводов) [1].

Прежде всего, следует отметить технологичность корпусов BGA, так как они позволяют оптимальным образом разместить заданное количество выводов на ограниченной площади с сохранением достаточного зазора между выводами. Все выводы находятся на одной плоскости с нижней стороны корпуса, поэтому их длина получается короче, чем у микросхем, имеющих другие конструктивные исполнения. Это приводит к снижению паразитных излучений, а значит, положительно отражается на целостности сигналов в электронном изделии [2].

Наряду с достоинствами, пластиковые корпуса BGA являются абсорбентами («поглотителями») влажности, что обусловливает появление так называемого эффекта «попкорна» – вспучивания корпуса либо герметизирующего материала электронного компонента при пайке. В связи с этим производитель чипа обозначает уровень восприимчивости компонента к влажности на каждом корпусе. Каждый уровень восприимчивости имеет временной предел для внешнего воздействия, связанный с ним. В стандарте JEDEC приведены сведения о предельном значении времени внешнего воздействия при стандартном атмосферном давлении, 30 градусов С и 60% относительной влажности. При превышении разрешенного времени внешнего воздействия, стандарт IPC/JEDEC Spec J-STD-020 предписывает проводить сушку компонента. Стандартное время сушки составляет 24 часа при 125 градусах С. По окончании сушки компонент должен быть помещен в пакет с веществом впитывающим влагу (например, силикагель), что предотвратит повторное проникновение влажности в него. Подобная сушка подготовит компонент к процессу пайки. В этом же стандарте указано максимальное время, которое ЭК могут провести вне защитной упаковки без накопления существенного количества влаги (т.н. «floor life») и описаны процедуры, которые необходимо проделать для сушки ЭК перед сборкой, в случае превышения этого времени [3].

Необходимо отметить, что компоненты продолжают накапливать влагу и после монтажа. При проведении ремонта необходима сушка платы перед тем, как подвергнуть ее воздействию тепла. В противном случае, возможно массовое повреждение электронных компонентов [4].

Таким образом, задача создания цифрового гигрометра, обладающего широкими функциональными возможностями, является весьма актуальной.

Измерительным и вычислительным ядром гигрометра является микроконвертер, представляющий собой комбинацию прецизионного аналого- цифрового преобразователя высокой точности с вычислительным ядром высокой производительности [5].

Для измерения относительной влажности предусмотрен датчик SHT21 фирмы Sensirion, который измеряет показатели относительной влажности до стопроцентного значения в диапазоне температур окружающей среды -55…+125 градусов Цельсия с погрешностью не превышающей 1%. На сегодняшний день это самый точный в мире датчик относительной влажности [6].

Поскольку все датчики в своем принципе имеют индивидуальные градуировочные характеристики (номинальные статические характеристики), датчик типа Sensirion представляет собой сложное интеллектуальное изделие, содержащее блок памяти, в который записаны аппроксимационные коэффициенты полинома, описывающие номинальную статическую характеристику датчика [7].

Перед работой с прибором при начальной инициализации программы прибора, то есть при включении питания, процессор из массива памяти, находящегося непосредственно в этом датчике, считывает эти коэффициенты, помещает их в свою оперативную память и в соответствии с этими коэффициентами пересчитывает результат измерений для получения высоких метрологических характеристик процесса измерения.

Библиографический список

1. Ball Grid Array (BGA) Packaging. Intel Packaging Databook, ch. 14/Intel – 2000. www.intel.com

2. Infineon. Recommendations for Printed Circuit Board Assembly of Infineon BGA/LBGA Packages/ Additional Information, DS1 – Jan. 2007. www.infineon.comRaytheon Company . [Электронный ресурс].URL:http://www.raytheon.com

3. SMT Assembly Guidelines for Fairchild's Microcouplers™ (Ball Grid Array)/Fairchild Semiconductors – 2004.www.fairchildsemi.com

4. Сускин В.В. Основы технологии поверхностного монтажа : - Рязань, Изд-во Узорочье, 2001. – 160 с., ил.

5. Analog Devices. [Электронный ресурс].URL:http://www.analog.com

6. Sensirion. [Электронный ресурс].URL:http://www.sensirion.com

7. Д. Н. Родионова. Автоматический регистратор параметров окружающей среды/ Д. Н. Родионова, А. И.Щелканов, А. С. Новиков, М. С. Кучменко/ Стандартизация, метрология и управление качеством: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 90-летию Росстандарта и 170-летию метрологической службы России (Омск, 20 мая 2015 г.). – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2015. – 251с.

УДК 620.193.1

В.А. Пеннер, Т.В. Несветайло
Омский государственный технический университет, г.Омск, Россия.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КРИВИЗНЫ НКТ

Аннотация. В настоящее время появляются новые разработки, улучшается старые технологии и процессы, вводятся новые модернизации. Насосно-компрессорные трубы (НКТ), получившие большой спектр применения в нефтедобывающей промышленности, обязательно должны быть высокого качества. Не зря к ним применяются особые условия точности геометрических характеристик, обусловленные актуальными для развития промышленности показателями: себестоимостью, надежностью, работоспособностью. С помощью средств измерения, в частности, возможно определить глубину залегания дефектов на наружной поверхности. Определение значимости измерения кривизны НКТ для нефтепромыслового оборудования является целью данной статьи. Повышенная кривизна труб со временем может привести к нарушению герметичности, возрастанию нормального давления труб на стенки и другим неблагоприятным факторам, ускоряющим изнашивание НКТ.

Ключевые слова: насосно-компрессорные трубы, кривизна, погрешность измерений, контроль, геометрические характеристики

НКТ предназначены для эксплуатации и ремонта нефтяных и газовых скважин, согласно ГОСТ 633– 80 «Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним» изготавливаются исполнения А и Б (где А – повышенной точности) четырех конструкций. Колонну НКТ спускают в скважину после подготовки к эксплуатации для подъема на поверхность жидкости, газа или их смеси, иных технологических операций.

Точность геометрических размеров проката – один из факторов, влияющих на качество НКТ. На точность геометрических размеров проката, в свою очередь, оказывают влияние различные факторы, рассмотренные в [2]:

–«точность расточки валков;

–шероховатость поверхности валков;

–материал прокатных валков и твердость их поверхности;

–степень износа валков;

–радиальное биение валков;

–выбор системы калибров и др.»

Известно, что форма поперечного сечения круглой трубы определяется овальностью и разностенностью. Кроме того, в продольном направлении она определяется кривизной (отклонением от прямолинейности). Определить значимость измерения кривизны НКТ для

нефтепромыслового оборудования – цель данной статьи. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

1) рассмотреть существующие методы оценки кривизны НКТ в зависимости от видов участков, кривизну которых необходимо определить;

2) определить направления применения существующих методов измерения кривизны НКТ на современных предприятиях.

НКТ (новые или бывшие в эксплуатации) при подготовке к дальнейшему использованию тщательно проверяют. При достоверности измерительной информации можно говорить о качестве процесса контроля. Допустимые погрешности измерений – погрешности средств измерений и погрешности, создаваемые отклонениями от нормальных условий влияющих величин.

Согласно [3] «кривизну отдельных участков трубы проверяют поверочной линейкой по ГОСТ 8026 длиной А, равной 1000 мм, и набором щупов (Рис. 1). Кривизна поступающих труб не должна превышать 1 мм на метр длины. Общая кривизна, измеренная в середине трубы, не должна превышать 1/2000».

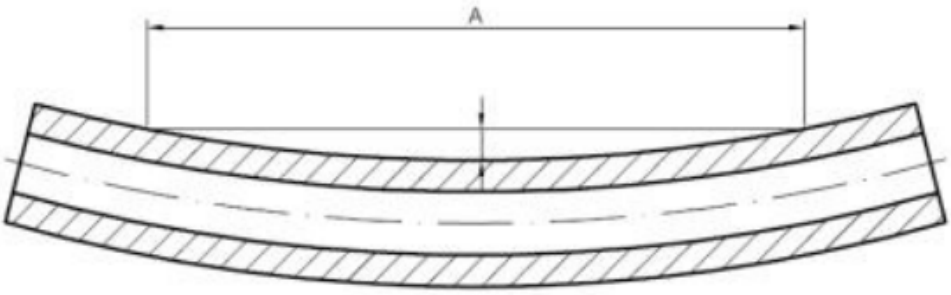


Рис. 1 Измерение отклонения от прямолинейности

Вышеуказанный пример характеризует местную кривизну на концах трубы. Общую кривизну и соответствие внутреннего диаметра номинальному проверяют иначе. В данном случае применяется шаблон по всей длине трубы в зависимости от наружного диаметра трубы.

Стрелой прогиба принято считать радиальное биение. Иными словами, это участок трубы с максимальной кривизной. Осмотр наружной и внутренней поверхностей труб проводят визуально.

В настоящее время оценить кривизну труб возможно разными методами в зависимости от того участка, кривизну которого необходимо определить. Рассмотрим эти варианты.

1. Контроль кривизны любого участка трубы на длине 1м (Рис. 2). В данном случае к вогнутой части трубы необходимо приложить метровую поверочную линейку. Максимальная величина кривизны нормированного участка трубы составит значение, обозначенное на рисунке как «А».

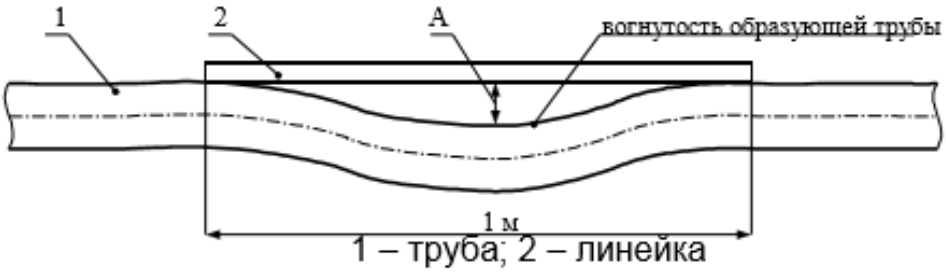
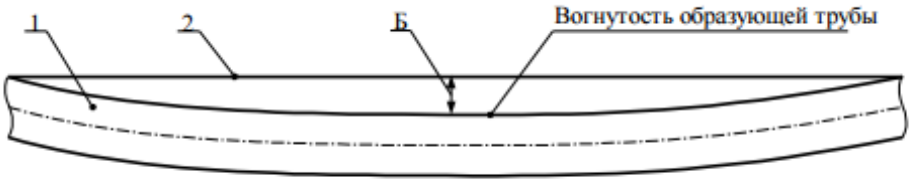


Рис. 2 Контроль кривизны любого участка трубы на длине 1м

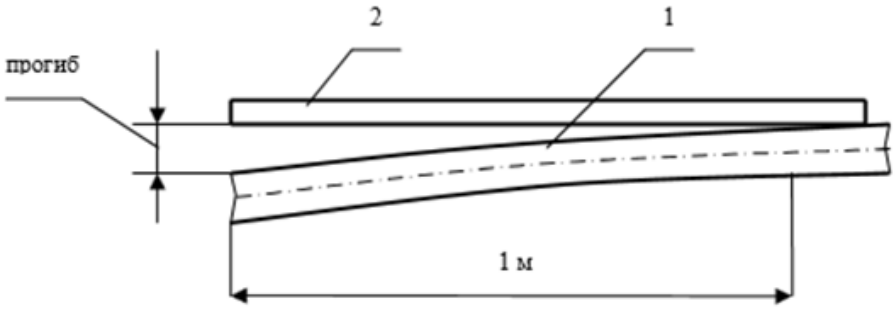
2. Контроль кривизны всей длины трубы (Рис. 3). Вдоль боковой поверхности от одного конца трубы до другого натягивается шнур (леска). Максимальный зазор «Б», измеренный с помощью измерительной линейки определит кривизну исследуемой трубы.



1 – труба; 2 – шнур, леска

Рис. 3. Контроль кривизны всей длины трубы

3. Контроль изогнутости на концевых участках трубы (Рис. 4). Визуально определяют вогнутую образующую трубы, к которой прикладывают метровую поверочную линейку. Максимальную величина зазора (стрела прогиба) определяется с помощью щупа. Величина, полученная делением величины стрелы прогиба на расстояние от места измерения стрелы прогиба до ближайшего конца трубы, определяет изогнутость на концевых участках. В данном случае должны применяться необходимые значения длин: линейки не менее 1 300 мм, поверхность трубы за пределами загнутого конца, на которую опирается поверхность трубы, не менее 300 мм.



1 – труба; 2 – линейка

Рис. 4 Контроль изогнутости на концевых участках трубы

Кривизна самого нижнего участка колонны оказывает влияние на интенсивность искривления. Кривизна НКТ возрастает при увеличении осевой нагрузки и стрелы прогиба, а также уменьшении жесткости.

Представляет интерес оборудование «ULTRAMETRIX». Оно состоит из комплекса систем, одной из которых является измерение диаметра, овальности и кривизны трубы по всему периметру.

Согласно [1], «монолитная жесткая конструкция измерительной базы для системы измерения кривизны трубы имеет стабилизацию положения для исключения и поглощения внешних вибраций и собственных колебаний. Схема измерения кривизны трубы позволяет проводить измерение кривизны как центральной оси трубы, так и кривизны по всей поверхности. Это обстоятельство имеет важное значение, т.к. именно на основании данных о положении центральной оси трубы и геометрии профилей в каждом поперечном сечении можно осуществить построение точной трехмерной модели трубы, что в свою очередь, позволяет вычислить кривизну любой части поверхности трубы и по любым требованиям Покупателя труб».

Свойство искривленного низа колонны НКТ используют при наклонно-направленном бурении. К примеру, активно применяется для вертикальных скважин в наклонно залегающих породах. Надежность бурильных труб зависит от соосности стыкуемых труб, определяемой их геометрией и применяемых способов соединения.

Анализ современных источников и литературы позволил оценить влияние геометрии модели трубы на кривизну НКТ. Стоит иметь ввиду, что при образовании каждой полуволны сжатия скачками увеличивается кривизна труб. Необходимо определить влияние различных факторов на кривизну трубы при ее деформации.

Отметим, что повторное использование качественно отремонтированных труб позволяет сэкономить финансовые средства за счет сокращения количества аварий в скважинах и связанных с этим затрат на их ремонт, снимает часть экологических проблем и расходов на ликвидацию.

Оценка влияния кривизны безусловно позволит создать системы контроля прямолинейности труб, повысить качество выпускаемой продукции.

Библиографический список

1. Измерение геометрии металлопроката. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ultrakraft.ru/ru/component/content/article/108-products-ru/geometry-testing-ru/90-geometry-testing (дата обращения: 29.03.2016).

2. Храмков, Е.В. Оценка влияния различных факторов на качество горячекатаных труб / Е.В. Храмков, Б.В. Баричко, А.С. Кочкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». - 2014. - том 14. - № 4. - С. 76 - 80.

3. Якимов Е.В. Система контроля прямолинейности труб / Е.В. Якимов, А.Е. Гольдштейн, Д.В. Вахрушев // Ползуновский Вестник. - 2012. - №2/1. - С. 175 - 177.

УДК 535.06

М.С. Седельникова, Т.А. Сазанова, Н.Г. Эйсмонт
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация. При проведении лабораторных работ с использованием лазера на модульном учебном комплексе МУК-О, полученные значения некоторых величин не согласуется с теорией. Это может быть связано, в том числе, с качеством лазерного излучения. В работе были выделены и охарактеризованы основные параметры лазерного излучения, такие как длина волны, степень поляризации и угол расхождения. Экспериментально были уточнены значения выделенных параметров излучения для данной установки. Для некоторых величин (длина волны, угол расхождения) установлены интервалы погрешностей.

Ключевые слова: лазерное излучение, лазер, длина волны, степень поляризации, угол расхождения.

Лазеры прочно вошли в нашу повседневную жизнь и широко используются в научных и технических целях. Они признаны одним из величайших изобретений физики второй половины XX века. Во время обучения в технических вузах студенты знакомятся с принципами работы лазеров и изучают характеристики лазерного излучения. В курс физики при этом обязательно включаются лабораторные работы с использованием лазеров и лазерного излучения. В Омском государственном техническом университете студенты выполняются лабораторные работы по оптике на установках МУК-О. При этом согласованность теории и результатов, полученных в работах напрямую зависит от качества лазерного излучения.

Цель данной работы – экспериментально определить основные характеристики лазерного излучения, получаемого на установке МУК-О, и подтвердить свойства лазерного излучения, описанные в теории.

Согласно теории [4], оптические квантовые генераторы (ОГК) - устройства, генерирующие когерентные и монохроматические электромагнитные волны. Лазеры дают излучение в виде узконаправленного пучка света. Название «лазер» является аббревиатурой выражения: «Light Amplification by Stimulated emission of Radiation»- усиление света путем индуцированного испускания излучения.

В лазерах вырабатывается вынужденное излучение, являющееся поляризованным. Как известно, электроны в атомах находятся в своих состояниях, на различных уровнях энергии E_1, E_2, E_3. Рассмотрим два уровня: обладающий самым низкой энергией (невозбужденный) E_1 и возбужденное состояние с E_2 (Рис.1).

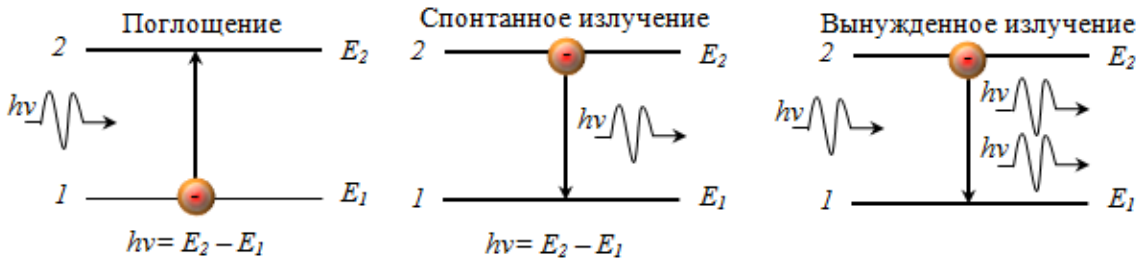


Рис.1

Если атом находится в основном состоянии с E_1, то под действием внешнего излучения (поглощение) может осуществиться вынужденный переход в возбужденное состояние с E_2. Атом, находясь в возбужденном состоянии 2, может через некоторое время спонтанно самопроизвольно (без внешних воздействий) перейти в состояние с низшей энергией, отдавая избыточную энергию в виде электромагнитного излучения, т.е. испуская фотон. Спонтанное излучение не когерентно (т.е. волны не характеризуются одинаковой частотой и постоянством разности фаз в заданной точке пространства). Если же на атом действует внешнее излучение с частотой, удовлетворяющей условию $h\nu = E_2 - E_1$, то возникает вынужденный (индуцированный) переход в основное состояние 1 с излучением фотона с той же энергией. При подобном переходе происходит излучение атомом дополнительно к тому фотону, под действием которого произошел переход. Таким образом, в процесс вынужденного излучения вовлечены два фотона: первичный фотон, вызывающий испускание излучения возбужденным атомом, и вторичный фотон, испущенный атомом [3].

Вынужденное излучение строго когерентно с вынуждающим излучением. Рассмотрим устройство лазера.

Рис. 2

Схема лазера проста (Рис.2): активный элемент помещен между двумя взаимно параллельными зеркалами. Зеркала образуют так называемый оптический резонатор; одно из зеркал, сквозь которое из резонатора выходит лазерный луч, делают слегка прозрачным. Чтобы началась генерация лазерного излучения, необходимо "накачать" активный элемент энергией от некоторого источника (его называют устройством накачки).

Лазерное излучение обладает некоторыми особенностями по сравнению с другими видами излучения. Рассмотрим некоторые из них подробнее.

Как говорилось выше, лазерное излучение монохроматично, то есть имеет одну определенную частоту или длину волны. Точнее - излучение с достаточно малой шириной спектра. Условно за монохроматичное можно принимать излучение с шириной спектра менее 5 нм [2].

Лазерное излучение также является плоскополяризованным, то есть две взаимно перпендикулярные составляющие вектора напряженности электромагнитного поля (E и H) совершают колебания с постоянной во времени разностью фаз во взаимно перпендикулярных плоскостях. При этом степень поляризации близка к единице. Проверить, является ли лазерное излучение плоскополяризованным или нет, можно с помощью специального устройства – поляризатора. Поляризатор пропускает только ту компоненту колебания вектора $\vec{E}$, которая параллельна плоскости поляризации анализатора (Рис.3).

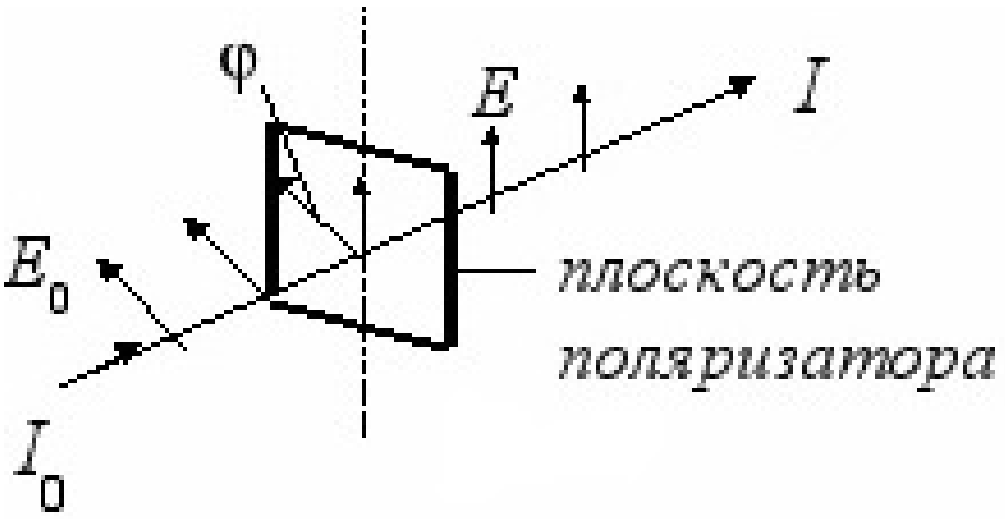


Рис.3

Из рисунка видно, что: $E = E_0 \cos\varphi$.

Если на пути поляризованного света поставить поляризатор, то интенсивность вышедшего из него света будет меняться в зависимости от угла поворота поляризатора по закону Малюса:

$$I = I_0 cos^2\varphi$$

где I- интенсивность света на выходе из анализатора, I_0- интенсивность падающего на анализатор излучения, φ- угол между направлением колебания светового вектора $\vec{E}$ в падающей световой волне и плоскостью анализатора. Интенсивность света будет максимальной при $\varphi=0^o$ и равной нулю при $\varphi=90^o$. [1]

Еще одной важной характеристикой лазерного излучения является его направленность, характеризуемая очень малой расходимостью светового луча. Угол расходимости лазерного пучка очень мал, и поэтому интенсивность светового потока почти не убывает с расстоянием. Мощные лазерные системы могут давать интенсивности до 10^{20} Вт/м^2. Для сравнения заметим, что среднее значение интенсивности солнечного света вблизи земной поверхности всего лишь 10^3 Вт/м^2. Следовательно, яркость даже относительно слабых лазеров в миллионы раз превышает яркость Солнца.

Особенностью лазерного излучения является также то, что его интенсивность очень высока и может достигать I = 10^{14}-10^{16} Вт/см^2 (ср. интенсивность солнечного света вблизи земной поверхности I=0,1 Вт/см^2).

Некоторые из выделенных характеристик были проверены экспериментально. Так, была определена длина волны лазерного излучения по интерференционной картине, полученной с помощью системы двух узких щелей (опыт Юнга).

В этом опыте поток света был направлен на непрозрачную пластинку с двумя очень маленькими отверстиями, за которой находился экран (Рис.4). Если придерживаться господствовавшей в то время корпускулярной теории света, то на экране он должен был увидеть две светящиеся точки. Вместо этого на экране он увидел чередующиеся светлые и тёмные полосы. Причём самая яркая из них находилась на экране посередине между отверстиями на перегородке, чего быть вообще-то не должно. Это возникновение полос объясняется явлением интерференции света.

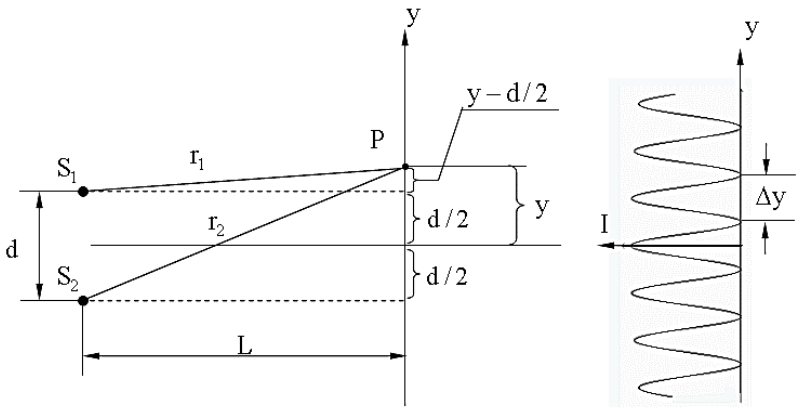


Рис. 4

На экране светлые полосы соответствуют точкам, в которых фазы волн одинаковы, а тёмные - точкам, в которых фазы волн противоположны. Существует формула, по которой можно рассчитать, в каком месте экрана будет светлая, а в каком тёмная полоса. Расстояние от центра экрана до светлых полос определяется по формуле:

$$y_{max} = \frac{L}{d} m\lambda_0, \text{ m=0, } \mp 1, \mp 2...$$

Длину волны в таком случае можно рассчитать по следующей формуле:

$$\lambda_0 = \frac{y_{max} d}{Lm} = \frac{\Delta y d}{L}$$

В эксперименте были определены значения Δy – среднего расстояния между светлыми полосами на экране, а значения L = 370 мм (расстояние от пластины со щелями до экрана) и d = 70 мкм (расстояние между щелями) взяты из паспорта установки. В ходе работы была определена длина волны лазерного излучения с учетом погрешности. Получены следующие данные:

$$\begin{cases} \lambda = (0{,}646 \pm 0{,}012) \text{ мкм} \\ \varepsilon = 1{,}8\% \\ \alpha = 0{,}9 \end{cases}$$

В паспорте к установке указано значение длины волны излучения 650 мкм. Таким образом, полученное в эксперименте значение хорошо согласуется с паспортным.

Также в работе экспериментально были получены значения относительной интенсивности лазерного излучения в зависимости от угла поворота поляроида. По этим данным можно судить о степени поляризации лазерного излучения.

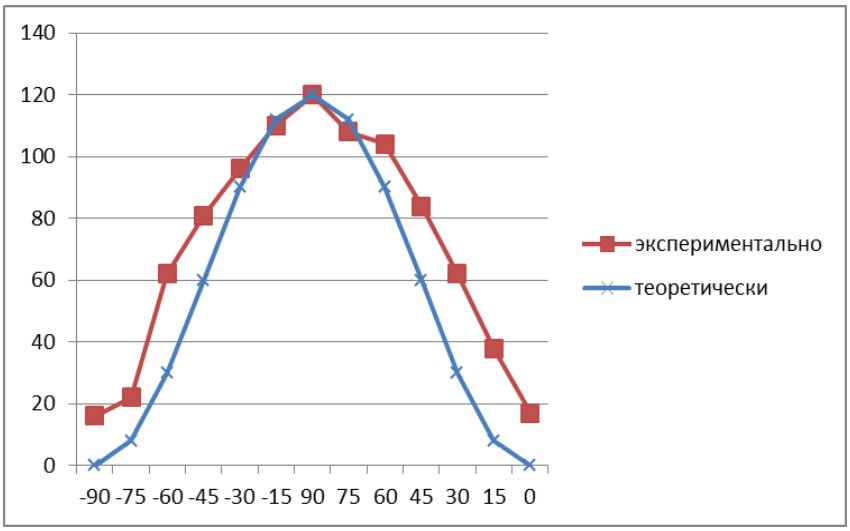


Рис. 5

На данном графике (Рис.5) отображена зависимость относительной интенсивности лазерного излучения от угла поворота поляризатора, полученная экспериментально, и относительная интенсивность, рассчитанная по закону Малюса. Мы видим, что результаты эксперимента незначительно отклоняются от теоретических. Это объясняется тем, что данная лазерная установка дает излучение, не являющееся полностью плоскополяризованным. Степень поляризации характеризует коэффициент P. Теоретически коэффициент поляризации P для плоскополяризованного света должен быть близок к единице, но на практике по формуле $P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$ было получено значение 0,765. Здесь P- степень поляризации, I_{max} и I_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения интенсивности света, полученные при разных углах поворота поляризатора.

Для нахождения угла расхождения лазерного излучения был измерен диаметр пятна лазера, полученный на экране. Из прямоугольного треугольника, в котором катетами являются расстояние от источника до экрана и радиус пятна, был найден угол расхождения лазерного излучения, равный примерно 0,46°, что является доказательством тому, что лазерное излучение очень узконаправлено.

Таким образом, в ходе работы были выделены основные особенности лазерного излучения и экспериментально проверена их достоверность с помощью установки МУК-О. Доказано, что лазерное излучение является монохроматическим с погрешностью 1,8 %. Причем полученное экспериментально значение длины волны хорошо согласуется с паспортными данными установки. Показано хорошее согласование между экспериментальными значениями интенсивности света, прошедшего через поляризатор, и теоретическими значениями, рассчитанными по закону Малюса. Это говорит о высокой степени поляризованности лазерного излучения. Экспериментально определенная в работе степень поляризации не позволяет говорить о лазерном излучении, даваемом лазером установки МУК-О как о полностью поляризованном.

Найденный экспериментально угол расходимости лазерного излучения очень мал. Это доказывает, что лазерный пучок узконаправлен.

По полученным результатам можно судить о хорошем согласовании между теорией и экспериментально определенными параметрами лазерного излучения, даваемого установкой МУК-О. В перспективе планируется определить интенсивность лазерного излучения даваемого данной установкой.

Библиографический список

1. Данилов С.В., ВОЛНОВАЯ ОПТИКА Методические указания к лабораторным работам по курсу «Общая физика»/ С. В. Данилов, О. В. Лях, В. П. Шабалин: Омск Издательство ОмГТУ, 2014 (с. 44-47)
2. Гнусин П., Принципы работы лазера [Электронный ресурс]/ Гнусин П., 20 Октябрь 2014, Режим доступа: http://worldofmaterials.ru/spravochnik/primenenie/161-printsipy-raboty-lazerov
3. bog5.in.ua: Поглощение. Спонтанное и вынужденное излучение [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://bog5.in.ua/lection/quantum_optics_lect/lect7_quant.html, свободный. – Загл. с экрана.
4. Энциклопедия Кругосвет. Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия [Электронный ресурс].Режим доступа: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/LAZER.html

УДК 621.317.73

А.М. Сембаев, А.И. Щелканов [1]
Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Россия.
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ РЕЗИСТИВНЫХ ТЕНЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Аннотация. Рассмотрены структурные и схемотехнические аспекты построения аппаратных средств преобразования сигналов тензометрических датчиков. Проведены экспериментальные исследования и анализ основных метрологических характеристик. Намечены пути снижения погрешностей измерения.

Ключевые слова: грузовые вагоны, литые детали, ресурсные испытания, тензопреобразователь, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, беспроводный интерфейс, автономное питание

Литые детали тележек железнодорожных вагонов (боковые рамы) являются наиболее значимыми техническими изделиями с точки зрения безопасности эксплуатации. Комплекс ресурсных испытаний, призванных обеспечить надежность изделий, невозможно провести без средств прецизионной тензометрии, являющейся неотъемлемой частью статических и динамических измерений.

Разработанный ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» проект межгосударственного стандарта на методы ресурсных испытаний боковых рам тележек железнодорожных грузовых вагонов предписывает установку большого количества резитивных тензопреобразователей в зонах повышенной ответственности, характеризующихся повышенным риском отказов [1].

В процессе поездных испытаний измерению подлежат восемь сил, действующих на боковую раму, наибольшее динамическое значение которых вызывает изменение напряжения более чем на 10 МПа в зонах повышенной ответственности, в том числе в зонах:

-внутреннего угла проема под колесную пару;

-нижнего угла рессорного проема;

-наклонного пояса.

Учитывая специфичность условий проведения поездных испытаний (в части широкого диапазона изменения температуры и влажности окружающей среды, наличия тряски, вибраций и одиночных ударов, необходимости минимизации количества технологических кабе-

лей), задача создания многоканальных аппаратных тензоизмерительных средств с беспроводным интерфейсом и автономным питанием весьма актуальна.

Основу представляемого базового измерительного преобразователя составляет прецизионный многоканальный аналого-цифровой преобразователь ADuC847 [2] с встроенным микроконтроллером (рис.1.), являющийся функционально завершенным контроллером для интеллектуальных датчиков, содержащем сигма-дельта АЦП с разрешением 24 бит, входной восьмиканальный мультиплексор с гибкой перепрограммируемой структурой, датчик температуры кристалла и усилитель с программируемым коэффициентом передачи (PGA). Вычислительные возможности и гибкость структуры определяет быстрый 8 разрядный микроконтроллер, содержащий 62КБ внутренней неразрушаемой Flash/EE памяти программ, 4КБ внутренней неразрушаемой Flash/EE памяти данных и 2304Б внутренней памяти данных с произвольным доступом (RAM), что позволяет реализовать весьма сложные алгоритмы обработки сигналов и организацию беспроводных интерфейсов при работе в составе информационно-измерительной системы.

Интегрированный загрузчик обеспечивает загрузку прикладных программ в устройство через последовательный порт (UART), при этом отладка прикладных программ системы производится через единственный внешний вход EA.

АЦП с встроенным фильтром и программируемым выходным потоком данных обеспечивает измерение в широком динамическом диапазоне низкочастотных сигналов низкого уровня, снимаемых непосредственно с тензодатчиков [3].

Микропроцессорное ядро тактируется частотой до 12.58 МГц с выхода программно управляемого делителя встроенной системы ФАПЧ, работающей от «часового» кварцевого резонатора. Микропроцессорное ядро программно совместимо с микроконтроллерами семейства Intel 8051, отличаясь от последнего увеличенной в 12 раз производительностью за счет реализации одноциклового ядра.

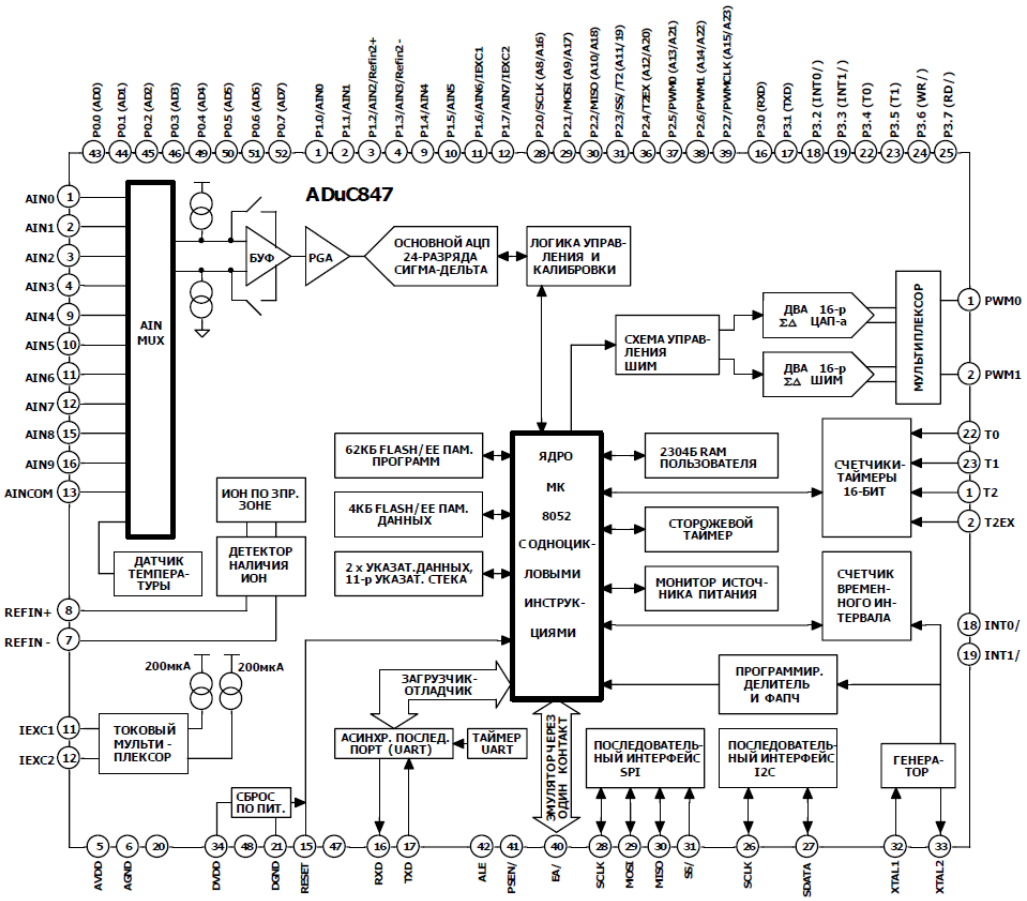


Рис. 1 Структурная схема ADuC847

Аналоговые входы ADuC847 конфигурируются как четыре полных дифференциальных канала или восемь псевдодифференциальных канала с одним общим входом AINCOM, чего вполне достаточно для синтеза логометрической измерительной структуры [4] с четырехпроводным или шестипроводным подключением тензодатчика (Рис.2.).

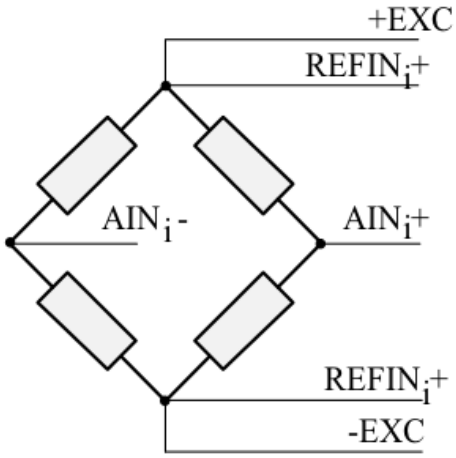


Рис. 2 Схема тензодатчика

Четырехпроводная схема подключения предпочтительна для применения в случае использования коротких кабелей к тензодатчикам, то есть когда неактуальна температурная компенсация изменения сопротивления питающего кабеля, вызванного изменением температуры окружающей среды.

В большинстве случаев предпочтительно использование шестипроводной схемы подключения, которая практически полностью компенсирует влияние возможных изменений сопротивления кабеля питания на функцию преобразования под воздействием изменения параметров окружающей среды [5].

На входе АЦП можно программным способом реализовать буферизацию, а так же выбрать один из восьми масштабирующих коэффициентов передачи в диапазоне входных сигналов от ±20мВ до ±2.56В. Это обстоятельство весьма полезно с точки зрения расширения динамического диапазона преобразуемых параметров.

Для получения требуемой программируемой частоты преобразования на выходе и выполнения низкочастотной фильтрации на выход модулятора устанавливается программируемый НЧ фильтр с переходной характеристикой вида (Sinc3). Аналоговая часть АЦП имеет два режима работы: с разрешенным и запрещенным стабилизирующим прерывателем (CHOPPER).

Источник опорного напряжения [6], входящий в состав ADuC847, не обладает приемлемыми метрологическими характеристиками, в силу чего применен отдельный источник опорного напряжения, дополненный мостовым аналоговым коммутатором для коррекции аддитивных погрешностей, вызванных паразитными термоэдс [7].

Беспроводный интерфейс работает в диапазоне частот 2.4 ГГц и подключен к контроллеру посредством программно реализованного интерфейса SPI.

Экспериментальные исследования изготовленного опытного преобразователя показали высокие метрологические характеристики при измерениях нагрузок в широком динамическом диапазоне.

Библиографический список

1. ОАО ВНИИЖТ. [Электронный ресурс]. URL: http://www.vniizht.ru/?id=260
2. Analog Devices. [Электронный ресурс]. URL: http://www.analog.com/ru
3. Bryan J.M. Sigma-delta measurement ADCs //Practical design techniques for sensor signal conditioning. -Analog Devices Inc., 1999.- P. 8.16 -8.34.

4. Орнатский, П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники/ П. П. Орнатский – Киев: Вища школа, 1983. – 455 с.

5. Орнатский, П.П. Автоматические измерения и приборы/ П. П. Орнатский – Киев: Вища школа, 1986. – 504 с.

6. Miller P., Moore D. Precision voltage references //Texas Instruments Incorporated. Analog Applications Journal. – 1…4 pp.

7. Щелканов А.И. Структурные методы синтеза измерительных схем портативных цифровых микроомметров / Пашкова Н.В., Щелканов А.И. // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием (21-22 нояб. 2013г.) / Редкол.: Омск: Изд-во ОмГУПС 2013. - С.264-269

8. Nordic Semiconductor. [Электронный ресурс]. URL: http://www.nordicsemi.no

УДК 378:53

О.М. Сухарева
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С БУДУЩЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОБУЧАЕМЫХ

Аннотация. В статье обсуждаются актуальные задачи методики образования. Представлены аргументация и описание эксперимента по введению в процесс изучения курса физики элементов, имеющих непосредственное отношение к предполагаемой профессии студентов.

Ключевые слова: мотивация, связь с профессиональной деятельностью.

Введение. В настоящее время высшее образование находится в сложной ситуации: подавляющее большинство студентов, обучающихся в ВУЗах, относится к процессу обучения очень формально, не проявляя никакой заинтересованности в получаемых знаниях. На занятиях студенты занимают крайне пассивную позицию, что неизбежно сказывается на качестве усвоения материала. Уровень подготовки абитуриентов в среднем низкий. На обучение физике в программе технических специальностей отводится слишком малое для предполагаемого объёма новых знаний количество времени. Всё это создаёт значительные затруднения при реализации образовательной задачи.

Поэтому одна из актуальных задач методики образования на данный момент – поиск способов повышения заинтересованности студентов в процессе обучения, что способствует росту эффективности учебного процесса. Введение в процесс изучения курса физики элементов, имеющих непосредственное отношение к предполагаемой профессии студентов, может быть одним из таких способов.

Описание эксперимента. Воздействовать на человека можно при помощи двух видов стимулов: позитивных и негативных. И те, и другие способы воздействия можно в свою очередь разделить на две следующие группы: с отложенным результатом и с непосредственным (сиюминутным).

Негативные стимулы вызывают ощущение принудительности, несвободы, угнетённости и, как следствие, чувство протеста, подсознательное желание избежать навязываемой деятельности, несмотря на её осознаваемую необходимость и полезность. В свою очередь, стимулы с отложенным результатом требуют соответствующего уровня развития личности.

Причём, чем дальше отодвинуты во времени последствия, тем большей самодисциплины и сознательности требует от человека соответствующая деятельность.

Соответственно, позитивные стимулы с непосредственным результатом (положительные подкрепления в терминологии бихевиоризма [1]) в ситуациях слабой самоорганизованности обучаемых представляются благодатным полем для выработки новых приёмов обучения (для повышения *внутренней* заинтересованности студентов в *процессе* обучения).

Обучение физике в техническом университете проводится на первых двух курсах, в отрыве от профильных технических предметов. Студенты не видят в курсе физики фундамента, теоретической базы, на которой будет построена вся их последующая профессиональная деятельность; понятия и законы физики выглядят для них слишком абстрактными, умозрительными и не связанными с практической жизнью. Вследствие этого студенты относятся к обучению формально, стремятся обойтись минимумом усилий для получения зачётов и сдачи экзаменов. Представляется вероятным, что, если показать им связь между курсом общей физики и практикой, а конкретно их профессиональной деятельностью, заинтересованность и, как следствие, успеваемость по предмету у студентов повысятся.

Для проверки правильности предложенной гипотезы были взяты две группы студентов второго курса Омского государственного технического университета, обучающихся в Нефтехимическом институте по специальности «**Техника и физика низких температур**» (специализация «Криогенные машины и установки»). Группа К-219 являлась контрольной, группа К-229 – экспериментальной. Практические занятия проведены одним и тем же преподавателем в обеих группах. С экспериментальной группой нестандартность подачи материала не обсуждалась. Для эксперимента был взят раздел курса физики «Магнетизм». Время (3 практических занятия, т.е. 6 часов) было разделено следующим образом:

магнитный момент рамки с током, вращающий момент сил, действующих на рамку с током во внешнем магнитном поле, индукция магнитного поля, закон Био-Савара-Лапласа, принцип суперпозиции	2 часа
магнитное поле, создаваемое движущимся зарядом, сила Ампера, сила Лоренца, магнитный поток	2 часа
явление самоиндукции, ЭДС индукции, правило Ленца, индуктивность	1 час
проверочная работа	1 час

Связь между криогенной техникой и магнетизмом усматривается в сверхпроводимости. В настоящее время в самых разных областях науки и техники применяются сильные магнитные поля, для создания которых требуются очень мощные электромагниты. Традиционные электромагниты требуемых напряжённостей магнитного поля не выдерживают и разрушаются, поэтому на сегодняшний день единственными источниками сильных магнитных полей являются сверхпроводящие магниты. Для существования сверхпроводящего состояния в веществе необходимо охлаждение этого вещества до низких температур (температур жидких азота и гелия). Сжижение газов осуществляется при помощи криогенных установок, конструированию и обслуживанию которых и обучают студентов рассматриваемой специальности.

Соответственно первое занятие в экспериментальной группе было начато с рассказа о роли сверхпроводимости в современном мире, о применении сверхпроводящих магнитов при научных исследованиях, в медицине, в электроэнергетике и на транспорте и о совершенной необходимости для всего этого специалистов по обслуживанию криогенных установок. Тему «Магнитный момент. Вращающий момент сил. Индукция магнитного поля» ассоциировали с применением сверхпроводящих магнитов в медицине, а конкретно с магнитно-резонансной томографией. На втором занятии в экспериментальной группе обсуждалось использование

сверхпроводящих магнитов (жидкий гелий для охлаждения которых поставляется криогенными установками) в фундаментальных научных исследованиях в физике атомного ядра и элементарных частиц (масс-спектрометры, циклические ускорители с неподвижной мишенью и коллайдеры). Для третьего занятия были подобраны схожие задачи. Источником задач послужил широко распространённый сборник задач по физике для втузов [2]; некоторые задачи подвергались частичной переработке.

На проверочную работу были вынесены четыре темы: магнитный момент, сила Лоренца, магнитный поток и ЭДС индукции. При решении задач разрешалось пользоваться любыми имеющимися источниками.

Результаты. Решение каждой задачи проверочной работы было подробно записано и разбито на смысловые единицы, каждая из которых является необходимой частью решения задачи:	К-219 (контр.)	К-229 (эксп.)
задача 1, ед.	6	5
задача 2, ед.	6	5
задача 3, ед.	5	5
задача 4, ед.	5	5
всего, ед.	22	20

Решение каждой задачи сравнивалось с эталоном, и подсчитывалось число наличествующих в решении смысловых единиц. Результаты по всем задачам суммировались. Также рассчитывался относительный результат (по сравнению с максимально возможным количеством баллов).

Во время проверочной работы присутствовало по 10 человек в каждой группе. Студенты показали следующие результаты (таблицы 1 – 3):

Таблица 1

Средний результат по группе (в % к максимально возможному числу единиц)

Группа К-219 (контрольная)	20%
Группа К-229 (экспериментальная)	37%

Таблица 2

Число смысловых единиц в решении задач проверочной работы, контрольная группа

Группа К-219 (контрольная)						
	задача 1	задача 2	задача 3	задача 4	всего	в % к общ. кол-ву ед.
О. Н.	6	0	0	2	8	36
П. Д.	0	0	0	0	0	0
С. Ж.	0	0	0	5	5	23
Р. И.	0	1	0	2	3	14
Мух. А.	6	1	0	1	8	36
Мак. А.	5	0	0	0	5	23
П. М.	1	4	0	0	5	23
С. Е.	0	0	0	1	1	5
Б. Д.	5	0	0	2	7	32
С. Ю.	0	1	0	1	2	9

Таблица 3

Число смысловых единиц в решении задач проверочной работы, экспериментальная группа

Группа К-229 (экспериментальная)						
	задача 1	задача 2	задача 3	задача 4	всего	в % к общ. кол-ву ед.
Б. Е.	4	5	0	2	11	55
С. К.	5	5	0	4	14	70
К. О.	3	1	0	1	5	25
К. И.	4	2	0	0	6	30
С. А.	5	5	0	0	10	50
У. Е.	4	4	0	0	8	40
Т. Е.	0	0	0	0	0	0
Д. В.	5	2	0	0	7	35
П. А.	2	2	0	0	4	20
К. Т.	5	4	0	0	9	45

Выводы. По данным таблиц 2 и 3 можно сделать вывод, что экспериментальная группа в целом гораздо лучше справилась с проверкой полученных знаний, чем контрольная группа. В контрольной группе лучшие результаты не выходят за 36%, в то время как в экспериментальной группе у половины участников результат равен и выше 40%. В таблице 1 отражён средний балл по каждой группе в целом. В экспериментальной группе он почти в два раза выше, чем в контрольной.

Было бы преждевременным на основании этого эксперимента делать какие-либо далеко идущие выводы. На данный момент собрана слишком малая статистика как по числу участников, так и по количеству аудиторных часов, набранных за время эксперимента. Данное исследование можно считать пробным камнем, в котором усматриваются некоторые закономерности, требующие дальнейших тщательных изучения и проверки. Однако определённая тенденция явно заметна, что позволяет предполагать, что включение в процесс обучения курсу общей физики элементов, связанных с будущей профессиональной деятельностью обучаемых, улучшает усвоение ими материала курса.

Библиографический список

1. Гриншпун И.Б. Введение в психологию. – М.: Международная педагогическая академия, 1994.
2. Трофимова, Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями: Учеб. пособие для вузов / Т.И.Трофимова, З.Г. Павлова. – М.: Высш. шк.,1999. – 591с.

УДК 538.945

С.А. Сычев, Г.М. Серопян
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия.

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ КИСЛОРОДА ХЛОРОМ И ФТОРОМ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА YBCO КЕРАМИКИ

Аннотация. Открытие высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) привело к появлению большого числа работ. Широкое распространение получили соединения на основе купратов, которые весьма перспективны для применения в различных областях науки и техники. Одной из главных задач, стоящих перед учеными, занимающимися сверхпроводимостью, является создание так называемых «комнатных» сверхпроводников с критической

температурой около 300 К. Теоретические модели не в состоянии дать рекомендаций на этот счет, поэтому используются эмпирические методы получения и исследования новых классов высокотемпературных сверхпроводников. Одним из методов получения новых сверхпроводников является метод допирования другими химическими элементами уже известных типов ВТСП или метод замещения ключевых элементов в структуре сверхпроводника другими элементами. По изменению структуры кристалла определяются сочетания структурных фрагментов ответственные как за появление сверхпроводимости, так и ее исчезновение. Данные подобных исследований помогают при разработке технологии получения новых материалов, а также при моделировании явления сверхпроводимости.

Ключевые слова: высокотемпературные сверхпроводники, критические параметры, структурные фазовые переходы, кислородные вакансии.

В настоящее время существуют различные классы высокотемпературных сверхпроводников, однако наибольший интерес вызвал сверхпроводник $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ввиду, того, что при достаточно простой структуре и технологии изготовления он обладает высокой критической температурой перехода в СП состояние ($T_c \approx 93$ К), что выше точки кипения жидкого азота (77 К). Большое количество работ посвящено замещению катионами. Например, в высокотемпературном сверхпроводнике YBCO катионное замещение осуществляется по трем ветвям:

1. Замещение Y (иттрия) в YBCO. Замещение Y производилось элементами Ce, Pr, Nd, Gd и исследовалось в работах [1,2,4,7]. Отмечено, что для элементов Ce и Pr при повышении степени допирования критическая температура понижалась, а при концентрации x > 0,5 сверхпроводящий переход подавлялся. Замещение Nd, Gd, Ho не приводило к существенному изменению критических температур, вплоть до полного замещения иттрия.

2. Замещение Ba (бария) в YBCO. В работах [1-3] проводились эксперименты по замещению Ba. Реакции осуществляли с элементами Mg, Ca, Na, Sr, Eu и др. При добавлении Mg, уже при малых y ~ 0,05 система 1-2-3 снижает значение T_c до 80-85 К. При дальнейшем увеличении параметра y T_c не изменяется. Замещение Eu, Sm приводит к линейному понижению T_c до значений ~ 60 К.

3. Замещение Cu (меди) в YBCO. Основные работы по замещению проводились с медью. Результаты представлены в работах [1,2,5,6]. Замещение осуществлялось Zn, Fe, Ti, Se и другими. Так, например, незначительное присутствие атомов Fe, Co, Al, а также Ga и Ta, подавляют Tc. Замещение Ti, Pd, Ag уже при незначительных концентрациях приводило к повышению T_c ~ 95-98 К (при x~0.001), но при дальнейшем увеличении концентрации наблюдалось понижение критической температуры.

Ряд работ связан с замещением кислорода в YBCO галогенами (Cl, F, Br, I).

4. Замещение кислорода Br (бромом). Так в работе [8], производилось замещение кислорода Br в несверхпроводящем соединении $YBa_2Cu_3O_{6.2}$, что привело к появлению СП перехода. Для образца состава $YBa_2Cu_3O_{6.2}Br_{0.9}$ была получена $T_c \approx 92$ К, что не сильно отличает этот образец от $YBa_2Cu_3O_{6.9}$, также полученного в этой работе с такой же температурой перехода. Ширина перехода допированного образца $\Delta T_c \sim 1$ К. Также нельзя однозначно говорить о позициях, занимаемых Br в структуре полученного образца.

5. Замещение кислорода Cl (хлором). Было отмечено, что при легировании YBCO NaCl наблюдается понижение T_c, хотя при введение $NaNO_3$ критическая температура остается неизменной [2]. Это свидетельствует, по мнению авторов, о влиянии на критическую температуру только атомов Cl. А вот добавление $KClO_3$ привело к повышению T_c до 105 К. При структурном изучении полученных ВТСП определили, что такая зависимость получается не только из-за встраивания в структуру сверхпроводника натрия и калия, но также хлора. При изучении сверхпроводящей керамики YBCO с содержанием хлора, был изготовлен образец с помощью обработки соединения $YBa_2Cu_3O_6$ газообразным хлором. Образец $YBa_2Cu_3O_6Cl_x$ перешел в сверхпроводящее состояние при температуре ниже 80 К [9]. Однако, значение x в

формуле не конкретизируется. Как поясняют авторы, это связанно с тем, что по данным рентгеновского микроанализа невозможно различить хлор, вошедший непосредственно в состав химического соединения и адсорбированные атомы и молекулы хлора, находящиеся в порах и трещинах. В работе [10] производилось комплексное исследование хлорсодержащей YBCO керамики. Образцы были изготовлены хлорированием ромбической фазы $YBa_2Cu_3O_{6.9}$ посредством нагревания его с PCl_5 в пропорциях 0,5:1 по весу в запаянной ампуле при температуре 160 °C в течение 4 часов. После окончания реакции, летучие продукты откачивались, а образец сушили в вакууме. По данным анализа элементного состава полученный образец можно описать формулой $YBa_{2.01}Cu_{2,92}O_{6.54}Cl_{0,61}$. Было установлено, что критическая температура образца $T_c \approx$ 60-75 К, при ширине перехода $\Delta T_c \approx$ 20 К. Сравнение результатов дифракции нейтронов с химическим анализом позволило сделать вывод, что примерно 50% ионов Cl в структуре YBCO-Cl занимают позиции O(5), другие 50% ионов Cl занимают позиции O(1) и O(4).

6. Замещение кислорода F (фтором). Особый интерес вызывают работы по замене кислорода атомами фтора, так как данные в них разнятся. Так в работе [11] говорится о соединении при степени замещения фтором до x=2, которое перешло в сверхпроводящее состояние при температуре T_c = 168 К, но в случае наблюдения высокотемпературной сверхпроводимости при T_c > 150 К эффект был не стабилен во времени и невоспроизводим. Для синтеза использовалось соединение BaF_2. В работе [12] говорится о невозможности синтезировать фторсодержащую керамику на основе BaF_2. Также проводился синтез с использованием соединения YF_3. Изменение T_c было выявлено даже при малых концентрациях фтора. Максимальное значение T_c = 93,4К было получено при x=0,066 [13]. При дальнейшем увеличении концентрации фтора, температура перехода понижалась.

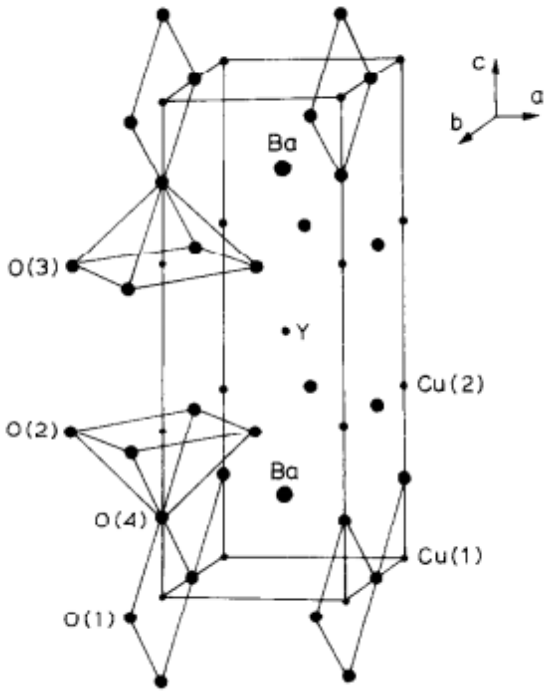


Рис. 1 Структура YBCO [10]

В настоящей работе проделаны эксперименты по исследованию влияния на критические параметры замещения кислорода на хлор или фтор в сверхпроводнике YBCO, поскольку представленные литературные данные во многом противоречивы. Например, данные полученные нами по замещению кислорода фтором, не подтверждают результаты, полученные в работах [11] и [12]. В наших исследованиях замещение кислорода хлором происходило пу-

тем замены азотнокислого бария соответствующим количеством хлорида бария ($BaCl_2$), а замещение кислорода фтором осуществлялось путем добавки фторида бария (BaF_2) с последующим пиролизом и отжигом по патентованной технологии. Измерение критической температуры и ширины сверхпроводящего перехода измерялось четырехзондовым методом по схеме, представленной на рис. 2. Температурный режим пиролиза шихты и отжига образцов представлен на рис. 3.

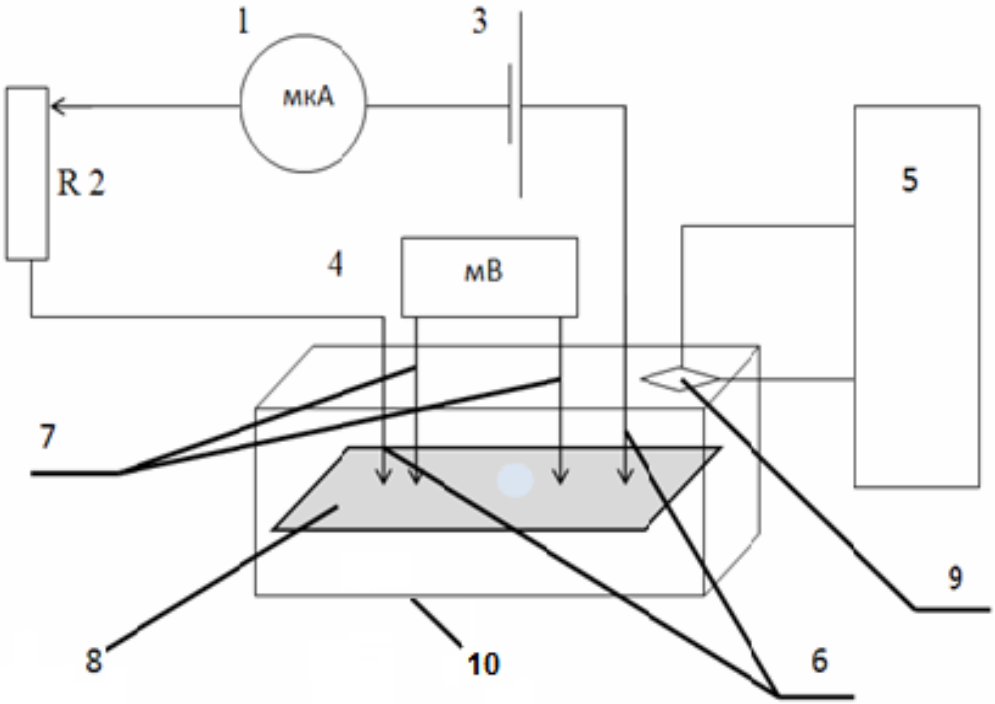


Рис. 2 Схема снятия критических параметров сверхпроводников:
1 – микроамперметр, 2 – магазин сопротивлений, 3 – источник питания,
4 – милливольтметр, 5 – омметр, 6 – токонесущие зонды, 7 – потенциальные зонды,
8 – образец, 9 – платиновый датчик температуры, 10 – криоячейка.

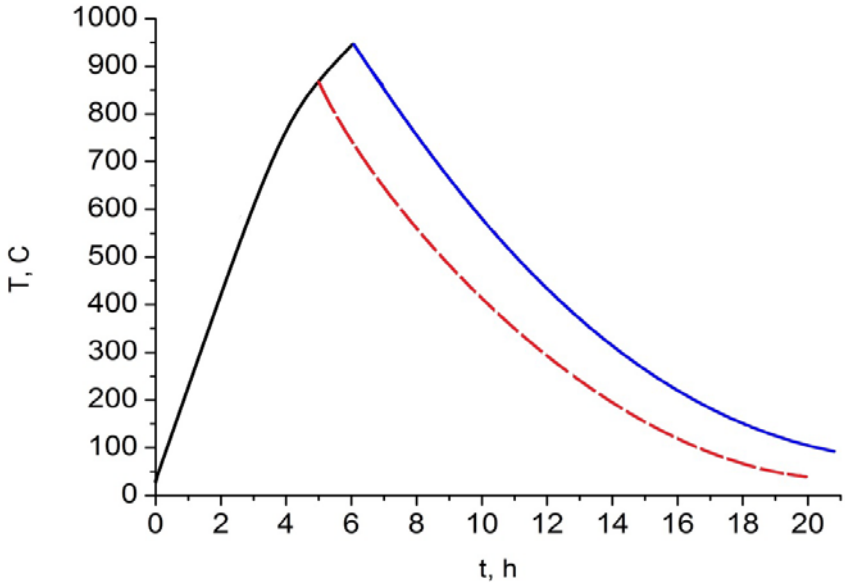


Рис. 3 Режим нагрева и охлаждения печи в процессе пиролиза шихты (нижняя кривая) и отжига образцов (верхняя кривая).

Графические результаты замещения кислорода в YBCO хлором и фтором представлены на рис. 4 и 5.

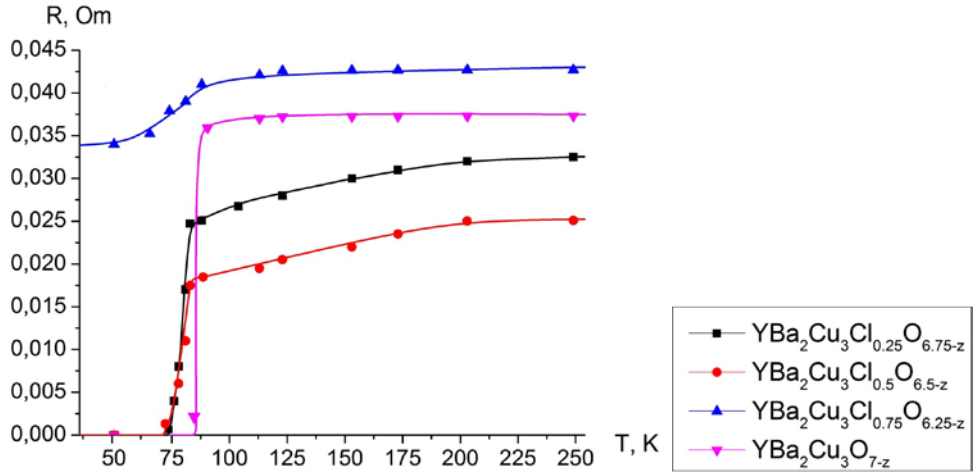


Рис. 4 Графики зависимости сопротивления от температуры для соединений $YBa_2Cu_3Cl_xO_{7-x-\delta}$ с учетом степени замещения кислорода хлором.

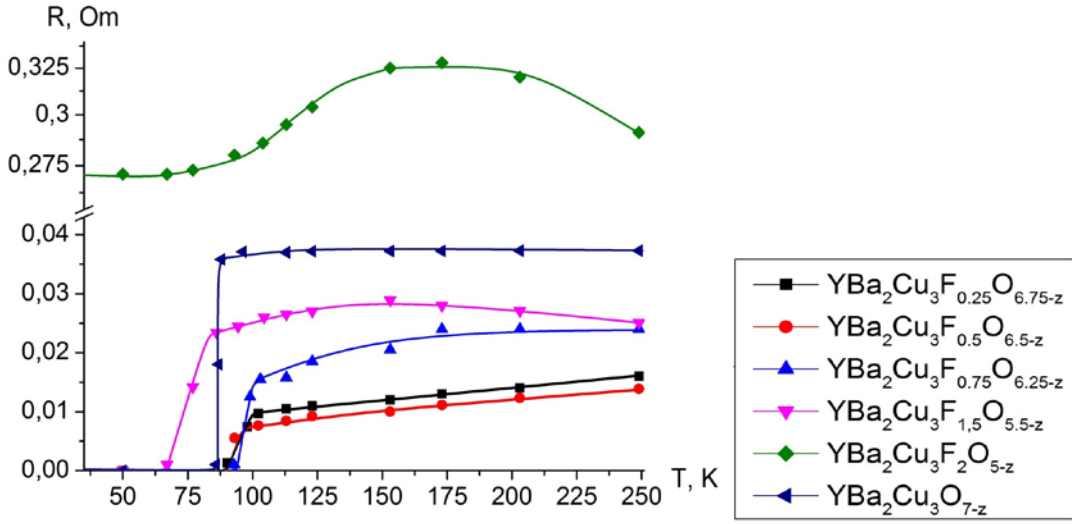


Рис. 5 Графики зависимости сопротивления от температуры для соединений $YBa_2Cu_3F_xO_{7-x-\delta}$ с учетом степени замещения кислорода фтором.

Обсуждение результатов. При замещении кислорода хлором, по всей видимости, происходит уменьшение вакансий слабосвязанного кислорода в орторомбической структуре YBCO, что и приводит к уменьшению критической температуры T_c и уширению перехода. Дальнейшее увеличение концентрации хлора приводит к необратимому изменению структуры синтезируемого соединения и потере сверхпроводимости. Такой вывод подтверждает результаты работы [10], в которой указаны предполагаемые позиции, занимаемые хлором. Небольшие концентрации хлора в YBCO уменьшают критическую температуру и уширяют СП-переход. При концентрации $x \geq 0.75$ сверхпроводящий переход полностью подавляется.

При замещении кислорода фтором сверхпроводимость сохраняется, что может свидетельствовать о более глубоком проникновении фтора в структуру YBCO без ее существенного изменения. При концентрации фтора в YBCO в пределах $x=0,25 \div 0,75$ несколько увеличивается критическая температура перехода до T_c = 93-95 К, но уширяется ширина перехода. Мы предполагаем, что при этом большая часть слабосвязанного кислорода остается на своих вакансиях в результате захвата кислорода структурой YBCO из окислительной атмосферы в процессе охлаждения. При значительном увеличении концентрации $x>1,5$ происходит изменение структуры и подавление сверхпроводимости в YBCO.

В заключении хотелось бы отметить, что достаточно перспективными являются исследования по замещению ключевых элементов в YBCO другими соединениями с целью получения новых сверхпроводящих фаз.

Библиографический список

1. Франк-Каменецкая О. В. Высокотемпературная сверхпроводимость. Фундаментальные и прикладные исследования: Сб. статей. Вып. 1 [Текст]/. О. В. Франк-Каменецкая, Т. Н. Каминская, А. В. Нардов, Т. И. Иванова // Машиностроение. – 1990. –С. 190-376.
2. Орлова Т. С. Микроструктура и электротранспортные свойства перовскитных оксидов переходных металлов [Текст]/. Т. С. Орлова // Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – 2011. – С. 152-160.
3. Wu X. S. Structure and superconductivity in $YBa_2Cu_3O_y$ with additives of $NaNO_3$ and NaCl [Текст]/. X. S. Wu, F. Z. Wang, S. Nie, J. S. Liu, L. Yang and S. S. Jiang // Physica C: Superconductivity. – 2000. – Vol. 339, – No. 2, – P. 129-136.
4. Xiao G. Electrical transport and superconductivity in the $(Y_{0.8}Ca_{0.2})Ba_2Cu_3O_y$ system with variable oxygen content [Текст]/. G. Xiao, N. S. Rebello // Physica C. – 1993. – Vol. 211, – P. 433-439.
5. Shinde S. L. AS susceptibility and grainboundary pinning strengths in $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ and $YBa_2Cu_{2.985}Ag_{0.015}O_{7-\delta}$. [Текст]/. S. L. Shinde, J. Morrill, D. Goland, D. A. Chance, T. McGuire // Phys. Rev. B. – 1990. – Vol. 41. – P. 8838–8842.
6. Фролов К. В. Магнитные корреляции в высокотемпературных сверхпроводниках системы $YBa_2(Cu_{1-x}Fe_x)_3O_y$ [Текст]/. К. В. Фролов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – 2008.
7. Волошин В. А. Состояние иона празеодима в системе YBCO [Текст]/. В. А. Волошин, В. В. Бабенко и др. // Физика низких температур. – 1996 – Т. 22. – № 11. – С. 1352-1355.
8. Nguyen P. P. Transport and magnetic properties of $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}Br_y$. [Текст]/. P. P. Nguyen, Z. H. Wang and A. M. Rao. // Physical Review B. – 1993. – Vol. 48. – № 2.– P. 1148-1155.
9. Осипьян Ю. А. Наблюдение сверхпроводимости в соединении $YBa_2Cu_3O_6$ Cl_x [Текст]/. Ю. А. Осипьян, О. В. Жариков, Н. С. Сидоров и др. // Письма в ЖЭТФ. – 1988. – Т. 48, – Вып. 4. – С. 225-227.
10. Amitin E. B. The electron and lattice properties of superconducting ceramics YBCO-Cl [Текст]/. E. B. Amitin, N. V. Bausck, S. A. Gromilov и др. // Physica C. – 1993. – Vol. 209. – P. 407-414.
11. Ovshinsy S. R. Superconductivity at 155K. [Текст]/. S. R. Ovshinsy, R. T. Young и др. // Phys. Rev. Lett. – 1987. – Vol. 58. – № 24. – P. 2579-2581.
12. Tyagi A. K. Attempts to prepare fluorine containing YBCO [Текст]/. A. K. Tyagi, S. J. Patwe и др. // Solid State Comm. – 1988. – Vol. 65. – № 10. – P. 1149-1151.
13. Bansal N. P. Effect of fluoride doping on the transition temperature of YBCO [Текст]/. N. P. Bansal, A. L. Sankuhl, D. E. Farrell // Apll. Phys. Lett. – 1988. – Vol. 52. – № 10. – P. 838-840.

УДК 378.14

Е.В. Шлякова, Н.А. Толмачева
Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, Россия.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

Аннотация. В статье рассматривается необходимость разработки методики объективной оценки трудности и сложности тестовых заданий. Проводится дифференциация понятий «сложность» и «трудность».

Ключевые слова: тестовое задание, трудность, факторы сложности.

Необходимость оценки профессиональных квалификаций имеет место на всех стадиях образовательного процесса: от входной аттестации, определяющей базовый уровень подготовки обучающихся к освоению содержания основной образовательной программы высшего профессионального образования, через все виды промежуточной аттестации и до итоговой аттестации, которая ставит точку на освоении программы в пределах высшего учебного заведения и открывает двери перед выпускником, готовым приступить к профессиональной деятельности в рамках присвоенной квалификации. Введение нового поколения государственных образовательных стандартов в практику высшего профессионального образования повышает актуальность оценки профессиональных квалификаций. Практически во всех федеральных государственных образовательных стандартах определено: «Для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям соответствующей ООП (текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация) создаются фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы контроля, позволяющие оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций. Фонды оценочных средств разрабатываются и утверждаются вузом». Тесты, как часть оценочных средств, являются эффективным средством контроля результатов обучения на уровне теоретических знаний, понимания и умения применять знания на практике. Они позволяют не только получить объективную информацию о качестве знаний и умений обучающихся, но и определить наиболее слабо усвоенные разделы, темы, отдельные вопросы и своевременно скорректировать процесс обучения.

Чтобы тесты и тестовые задания могли быть использованы в процессе оценки качества профессионального образования наиболее эффективно, необходимо четко сформулировать и соблюдать общие требования к их составу и содержанию, выработать правила оценки тестов и тестовых заданий.

Современная тестология признает, что качество тестирования зависит от многих параметров, но основой фактор – качество разработки тестов, их валидность. Тестовые задания, удовлетворяющие «внешним» формальным требованиям (правильность формулировки, логическая непротиворечивость, адекватная форма и др.) не являются всегда качественными, позволяющими рассматривать такие задания априори или апостериори как эффективное средство оценки уровня подготовки обучаемых. А. М. Сохор отмечает, что «подлинная активизация познавательной деятельности обучающихся возможна лишь при целесообразной последовательности предъявления задач, а также при учете особенностей тех элементов задач, которые должны стать центром мыслительной деятельности» [6]. Поэтому при построении системы учебных заданий нужно ориентироваться на их когнитивные характеристики, которые являются компонентами сложности. Для создания такой системы педагогу требуется оценить сложность заданий априори, т. е. до того, как они будут выполняться обучающимися.

В классической теории тестирования в качестве характеристики задания принимается его «статистическая трудность» [1].

Большинство исследователей полагает, что трудность тестового задания — это субъективная характеристика, которая зависит от огромного числа «внутренних параметров» чело-

века и не может быть эффективно формализована. «Трудный – это значит требующий большого умственного напряжения, усилий, затруднительный, мудреный». Это определение дает один из критериев оценки трудности тестового задания, а именно - сколько времени потребуется испытуемому, чтобы усилия, направленные на поиск правильного ответа были потрачены не зря. Понятие трудности может основываться на статистических оценках, например, чем меньше правильных ответов, тем труднее задание. Однако Р. А. Гильманов и др. считают, что «трудность, как и сложность, могут выступать объективными, а точнее, объективированными характеристиками, поскольку зависят от вполне объективных алгоритмов человеческого мозга» [3].

Какие факторы влияют на трудность тестового задания. В классической теории тестов трудность задания исчислялась как отношение верно данных на него ответов к общему количеству испытуемых. Естественным образом, чем ближе полученный результат к 1 (единице), тем большее количество испытуемых с ним справилось, следовательно, тем легче задание. Поэтому со временем показатель трудности задания стали рассчитывать как отношение неверно данных ответов к общему количеству испытуемых. Суть от этого, правда, поменялась не очень сильно. Формула позволяет констатировать, что с заданием X испытуемые справляются лучше (или хуже), но не дает никакого представления о том, почему. Соотношение верно и неверно выполненных заданий является ключевым элементом в вычислении вероятности правильного ответа, предложенном Г. Рашем. Он предложил «опираться только на «наблюдаемые параметры», такие как количество верных ответов, данных на ряд заданий испытуемым N, и количество верных ответов, данных всеми испытуемыми на задание X» [8]. Оба примера пригодны для обработки результатов тестирования. Если их использовать на различных этапах текущего контроля, они станут эффективным инструментом коррекции дальнейших действий педагога. Кроме того, расчет вероятности правильного ответа (например, по Рашу) позволит дифференцировать и индивидуализировать процесс обучения.

Многими педагогами и психологами отмечается объективность такой характеристики задания, как его сложность.

«Сложный – это значит состоящий из нескольких частей или элементов, образованный посредством соединения, сложения частей». Очевидно, из этого определения становится ясным как можно установить сложность тестового задания. Для этого достаточно проанализировать количество элементов знаний, охватывающих это тестовое задание, а также установить насколько глубоко испытуемый при ответе должен знать предметную область, чтобы правильно ответить на это ТЗ. Другими словами, сложность может быть связана с количеством умственных операций, которые нужно совершить, чтобы достичь правильного ответа. Если испытуемый не знает некоторые из этих операций - то для него задание будет сложным, если знает - более легким.

Часто степень трудности учебного задания не совпадает с его сложностью. Например, А.Н.Захаров и А.М.Матюшкин отмечают, что степень трудности учебного задания не совпадает с его сложностью. Степень сложности учебного материала характеризуется реальной (объективной) насыщенностью учебного задания и формой его изложения, а степень трудности всегда предполагает соотнесение подлежащего усвоению учебного материала с ранее усвоенным учебным материалом и интеллектуальными возможностями обучающихся. Трудность учебной задачи часто объясняется тем, что учащиеся часто не знают тех операций, которые надо производить, чтобы найти решение. Если систему операций для решения некоторого класса задач назвать методом решения, то, по его мнению, трудность связана с незнанием метода, с незнанием, как нужно думать в процессе решения, как и в какой последовательности надо действовать с условиями задачи. Возникающие затруднения объясняются тем, что педагог часто старается дать знания о содержании изучаемого и значительно меньше заботится о том, как надо думать, рассуждать. Подобное истолкование пересекается с идеей о связи сложности задания с числом операций, которые необходимо совершить для достижения успеха. Эти определения трудности и сложности являются, по большей части, психологическими; они полезны при психологическом анализе содержания тестовых заданий.

В общем случае сложность и трудность определяются разработчиком ТЗ и указывают субъективную величину того, насколько тяжело будет решить данное тестовое задание испытуемому с минимальным уровнем подготовки за определенное время. Можно различать два вида сложности и трудности - теоретическая (априорная) и фактическая (апостериорная). Априорная сложность и трудность определяются экспертами до проведения тестовых испытаний. В процессе апробации банка тестовых заданий и расчета по определенным методикам получаются апостериорные сложность и трудность.

Нужно учитывать, что при использовании банка тестовых заданий при тестировании трудность и сложность может адаптироваться в соответствии с аудиторией, т.е. при получении статистических данных по ответам на задания можно выявить насколько легко задание воспринимается тестируемыми, и какие заключения на него даются. В соответствии с этим устанавливаются фактическая (апостериорная) трудность и сложность тестового задания.

«Важнейшее назначение сложности и трудности ТЗ - использование при алгоритмах адаптивного тестирования. При отсутствии информации о сложности и трудности невозможна адаптация тестовых заданий по текущему уровню знаний испытуемого. Более того, при ошибочном задании трудности и сложности алгоритмы адаптивного тестирования будут работать некорректно, и в результате будет выставлена оценка уровня учебных достижений, имеющая большую погрешность» [4].

Отмечая различия между понятиями «сложность» и «трудность», исследователи подчеркивают связь между ними в виде корреляции. При планировании контрольных мероприятий в том случае, если трудность и сложность заданий коррелируют между собой с высоким коэффициентом, появляется возможность «путем оценки сложности конкретных задач того или иного типа прогнозировать их трудность, обходясь тем самым без непосредственного измерения последней, которое, как правило, значительно более трудоемко» [2].

Следовательно, знание сложности заданий позволяет осуществить предсказание трудности их решения обучающимися.

Таким образом, актуальной является необходимость разработки методики объективной оценки сложности заданий. Критерием ее удачности может служить высокая корреляция найденных с ее помощью оценок со значениями статистической трудности, полученными на больших выборках испытуемых. Если такая корреляция будет подтверждена, это послужит основанием для признания возможности применения предложенной методики оценки сложности при построении систем заданий.

Первым шагом оценки сложности должно стать построение измерительной шкалы. Наиболее часто встречается порядковая шкала с тремя градациями сложности заданий: легкое, средней сложности и сложное. По мнению некоторых авторов, тестовые задания также должны быть разделены на три степени сложности: уровень А – задания, рассчитанные на усвоение основных понятий, на простое отображение материала, на уровне узнаваемости и воспроизведения; уровень Б – задания, требующие размышления, охватывающие малый материал, выявляющие умения применять знания в стандартных ситуациях; уровень В – задания, предусматривающие творческое использования приобретенных знаний и позволяющие выявить умения, применять знания в нестандартных ситуациях.

Следующим за определением шкалы шагом оценки сложности является «установка процедуры, в соответствии с которой сложность конкретного задания может быть отнесена к той или иной градации, учитывая, что сложность может определяться несколькими факторами, например, количеством и характером мыслительных операций, необходимых для выполнения задания» [7]. Эти факторы также должны быть оценены по количественной шкале, после чего по ним строится интегральный показатель, характеризующий сложность задания в целом. Интегральные показатели могут определяться следующими способами:

1) обычным суммированием (или усреднением составляющих показателей) – в этом случае все факторы считаются равноправными;

2) суммированием с весовыми множителями (нахождение весового среднего значения), которые отражают значимость фактора. Например, в работе Л. М. Фридмана «каждой группе

операций назначается свой весовой коэффициент, который прямо пропорционален затраченному на выполнение операций времени, тогда сложность задачи рассчитывается как сумма коэффициентов сложности всех выполняемых в ходе решения операций» [7].

В обоих случаях требуется обоснование равнозначности факторов или их статистических весов. Заключительным шагом должно стать отнесение сложности по ее интегральному показателю к той или иной градации шкалы на основании установленных заранее критериев.

Таким образом, сложность – объективная многофакторная количественная характеристика учебного задания, отражающая число и характер мыслительных операций, необходимых для его решения нормативным способом.

При анализе допускаемых обучающимися ошибок рядом авторов выделены следующие факторы сложности заданий:

1) техническая сложность (ТС) – количество действий, которые необходимы для выполнения задания при нормативном алгоритме решения, она зависит от количества аналитических выражений (формул), используемых при решении, и определяет объем «технической» работы и время ее выполнения;

2) когнитивная сложность (КС) включает факторы, связанные с характером мыслительной деятельности, необходимой для выполнения задания (запоминание, знание, воспроизведение, применение и др.);

3) дополнительная сложность (ДС) – фактор, связанный с использованием при решении положений и формул из нескольких разделов дисциплины.

Интегральный показатель сложности С равен сумме трех групп факторов с равными весами: С = ТС + КС + ДС.

Таким образом, количественная оценка сложности учебных заданий, необходимая для прогнозирования трудности решения задач обучающимися, а также упорядочение на ее основе учебного материала, возможна. Она требует обоснованного выделения факторов сложности и вычисления их весов на основе объемных статистических данных о результатах педагогических измерений. Критерием полноты учета факторов может служить корреляция между статистической трудностью задания и его сложностью.

Библиографический список

1. Аванесов В.С. Аванесов В.С. Композиция тестовых заданий. М.: Центр тестирования, 2002. 237 с.
2. Балл Г.А. Теория учебных задач: психолого-педагогический аспект. М.: Педагогика, 1990. 184 с.
3. Гильманов, Р. А. Проблемы дидактометрии, трудности учебных упражнений/Р. А. Гильманов. — Казань, 1989. — 179 с.
4. Методические материалы «Тесты в образовательном процессе»: Сборник методических материалов/ Десятерик Ю.Е., Марченко М.В. – Т., 2015. – 28 с.
5. Попов Д.И., Попова Е.Д.Экспертиза качества тестовых заданий: Учебное пособие / Д.И. Попов, Е.Д. Попова. Моск. гос. ун-т печати. Москва: МГУП, 2008. 84 с.
6. Сохор А.М. Логическая структура учебного материала. Вопросы дидактического анализа. М : Педагогика, 1974. 192 с.
7. Фридман Л.М. Построение и оптимизация алгоритмов распознавания отношения принадлежности //Программированное обучение и обучающие машины.Киев, 1996. Вып. 1.
8. Аванесов В.С. Применение тестовых форм в Rasch Measurement// Педагогические измерения. URL http:// testolog.narod.ru/Theory 49.html

УДК 378.147

Н.Г. Эйсмонт, В.В. Даньшина, В.К. Волкова
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ

Аннотация Показана актуальность применения игровых технологий на занятиях по дисциплине «Физика». Учебная игра способна повлиять на такие внутренние факторы активизации учебно-познавательной деятельности как познавательный интерес, мотивация, самоконтроль, самостоятельность, целеустремленность, творческое мышление. Цель работы – изучить влияние интеллектуальной игры на активизацию познавательной деятельности студентов технических направлений подготовки. Интеллектуальная игра разработана авторами и проводится по аналогии с телевизионной передачей «Своя игра». Приведены примеры вопросов в раундах по мере их усложнения и возрастания стоимости; а в финале предлагаются творческие задания, принцип выполнения которых объясняется по ходу игры. Проведено прикладное исследование для оценки влияния игровой технологии на активизацию познавательной деятельности студентов. В работе приводятся вопросы анкеты. Опрос проводился среди студентов двух первых курсов Омского государственного технического университета. Выявлена заинтересованность студентов новой формой работы на занятии и желание применять ее почаще. Среди способов подготовки к занятию респонденты отметили, что готовились к игре как к экзамену, повторяли формулы и читали учебник 59%. Только 7% пользовались Интернет-источниками в которых не все ответы оказались подходящими и верными. Рекомендовано разработать интеллектуальные игры, не только контролирующего, но и обучающего характера по типу других сценариев, которые можно применить при изучении разных тем в течение семестра.

Ключевые слова активные методы обучения, интеллектуальная игра, прикладное исследование.

Студенты, обучающиеся на технических направлениях подготовки, зачастую сталкиваются с формализованным учебным материалом при изучении технических и особенно фундаментальных наук (математика, физика). Это приводит к снижению интереса студентов к учебе. Как следствие, снижается их активность на занятиях и уровень усвоения учебного материала. В качестве общепризнанных способов повышения активности студентов на занятиях является применение различных игровых технологий. Игра, согласно проведенным исследованиям [1] способна повлиять на такие внутренние факторы активизации учебно-познавательной деятельности как познавательный интерес, мотивация, самоконтроль, самостоятельность, целеустремленность, творческое мышление и некоторые другие.

Цель данного исследования – изучить влияние интеллектуальной игры на активизацию познавательной деятельности студентов технических направлений подготовки.

Студенты технических специальностей в Омском государственном техническом университете (ОмГТУ) изучают дисциплину «Физика» три семестра: «механика, молекулярная физика и термодинамика», «электричество и магнетизм», «оптика и квантовая физика». В конце каждого семестра проводится занятие в форме интеллектуальной игры [3,4,5] с применением активных методов обучения. Игра разработана [6,7] и проводится по аналогии с телевизионной передачей «Своя игра» на основе того материала, который студенты изучали в данном семестре. По каждой теме сформулировано пять вопросов - от простого до сложного - с соответствующей стоимостью в баллах. Стоимость вопросов растет по мере их усложнения и от раунда к раунду. Большинство вопросов для проведения игры сформулированы в соответствии с ГОС ВО и рабочими программами; но самые дорогие вопросы в раундах ча-

сто выходят за рамки программы дисциплины, что позволяет не только оценить, но и расширить кругозор и эрудированность студентов. Например, по теме «Тепловые двигатели» подготовлены следующие задания, ответы на которые приведены в скобках:

1. Какой вид тепловых двигателей применяется в современных автомобилях? (двигатель внутреннего сгорания)

2. Какая величина характеризует эффективность работы теплового двигателя? (КПД)

3. Машина, работающая по обратному циклу, состоящему из двух изотерм и двух адиабат (идеальная холодильная машина)

4. Инженер и физик, придумавший идеальную тепловую машину, вычисливший её коэффициент полезного действия. (С.Карно)

5. Где была изобретена первая известная человечеству тепловая машина? (в римской империи, в I или II веке н.э.)

В финальном раунде предлагаются творческие задания. В качестве примера приведем одно из них по теме «Термодинамические процессы»: С помощью кругов Эйлера покажите, в каком отношении находятся различные термодинамические процессы: политропный процесс, изотермический процесс, адиабатный процесс.

Ответ:

Принцип изображения множеств понятий с помощью кругов Эйлера объясняется студентам в ходе игры или на предыдущем занятии при выдаче тем заданий.

Для оценки влияния игровой технологии на активизацию познавательной деятельности студентов, был проведен мониторинг удовлетворенности студентов. Применялся количественный метод измерения полученной информации в форме анкетирования. Опрос проводился среди студентов 1 - 2 курсов радиотехнического факультета (РТФ) и машиностроительного института (МСИ) ОмГТУ г. Омска. В опросе участвовало 189 человек.

Студентам предлагалось ответить на следующие вопросы:

1. Понравилось ли Вам занятие по физике в форме интеллектуальной игры?
2. Считаете ли Вы, что такие занятия полезны?
3. Повышают ли, на Ваш взгляд, занятия в форме игры интерес к изучению физики?
4. Узнали ли Вы на занятии в форме игры что-нибудь новое?
5. Хотели бы Вы, чтобы занятия в игровой форме проводились чаще?

Данные опроса наглядно представлены на диаграмме (рис.1), где показано процентное соотношение ответов исследуемой аудитории по пяти вопросам анкеты.

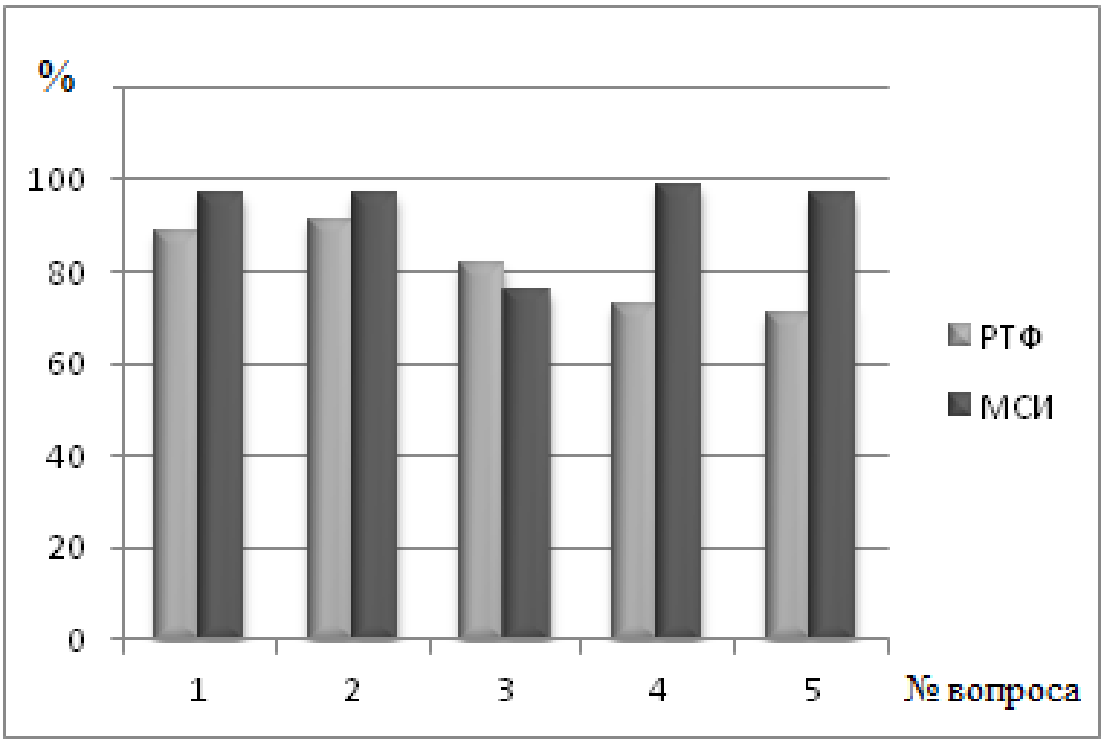


Рис.1 Иллюстрация отношения студентов РТФ и МСИ
к занятиям в форме интеллектуальной игры

Анализ ответов на вопросы показал, что подавляющее большинство опрошенных приветствуют новую для них форму занятий в виде интеллектуальной игры и заинтересовались этим. Кроме того, почти 80% студентов отмечают полезность таких занятий в процессе обучения и выражают пожелание, чтобы интеллектуальные игры проводились по возможности чаще, по каждому разделу физики. Несмотря на это пожелание, следует заметить, что данная игра все-таки относится к контролирующей форме организации занятий, а не к обучающей.

Большинство студентов сообщили о том, что дома готовились к игре (МСИ – 72,4%, РТФ – 88,6%). На круговой диаграмме (рис.2) в виде секторов представлено обобщенное распределение выбранных студентами способов подготовки к занятию.

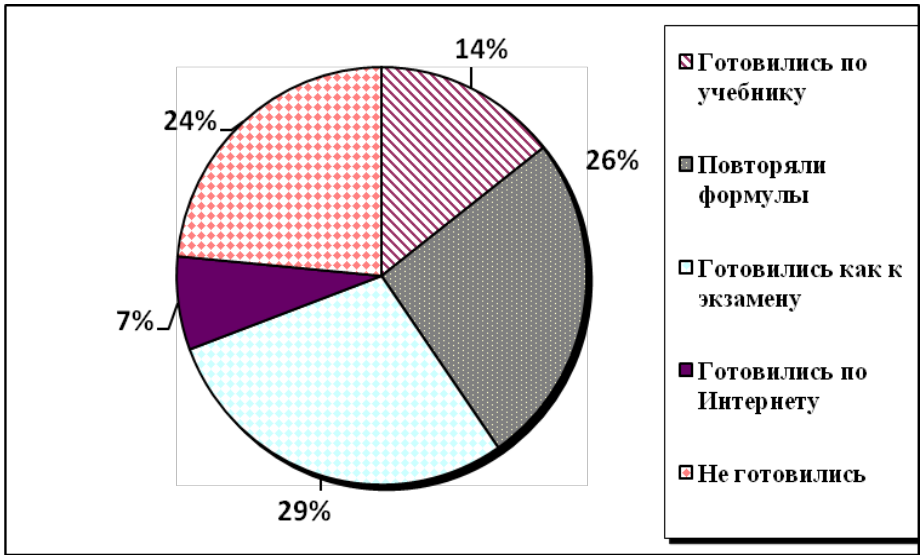


Рис.2 Иллюстрация выбранных студентами способов подготовки
к интеллектуальной игре

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что подготовка велась по всем направлениям примерно одинаково. Порадовало, что студенты ответственно отнеслись к домашнему заданию. Однако часть студентов сообщили, что при подготовке пользовались Интернет-источниками, а не учебниками и лекционным материалом. По-видимому, дело здесь в уже привычной и распространенной среди молодёжи форме получения информации с помощью компьютеров, планшетов, смартфонов и прочих гаджетов. При этом о качестве такой информации учащиеся не задумываются, привычно доверяя всему, что читают в сети. Как выяснилось впоследствии, в процессе игры, не все найденные в Интернете ответы оказались подходящими и верными.

Учитывая пожелания студентов, можно рекомендовать разработать интеллектуальные игры, не только контролирующего, но и обучающего характера по типу других сценариев, которые можно применить при изучении разных тем в течение семестра.

Библиографический список

1. Сазанова Н.Г., Даньшина В.В., Сидорова Е.А. Факторы активизации познавательной деятельности студентов при изучении естественно-научных дисциплин // Психопедагогика в правоохранительных органах. - Омск: ОмА МВД России, 2011 № 3.- с. 36-38.
2. Эйсмонт Н.Г., Лях О.В., Волкова В.К., Даньшина В.В. Мультимедийная интеллектуальная игра «Механика и молекулярная физика». - ИКАП, № гос. рег. 50201450579, 02.07.2014
3. Лях О.В., Эйсмонт Н.Г., Волкова В.К., Даньшина В.В. Мультимедийная интеллектуальная игра «Элетромагнетизм». - ИКАП, № гос. рег. 50201450578, 02.07.2014
4. Даньшина В.В., Волкова В.К., Эйсмонт Н.Г., Лях О.В. Мультимедийная интеллектуальная игра «Оптика и квантовая физика». - ИКАП, № гос. рег. 50201450576, 02.07.2014
5. Эйсмонт Н.Г., Даньшина В.В. Применение активных методов обучения для студентов гуманитарных специальностей// Актуальные проблемы современной науки: материалы IV регион. молодёжной науч.-практ. конф.– Омск : Изд-во ОмГТУ, 2015. – С. 122-124.
6. Эйсмонт Н.Г., Даньшина В.В., Лях О.В., Волкова В.К. Использование игровых и мультимедиатехнологий как способ активизации познавательной деятельности обучающихся //Психопедагогика в правоохранительных органах. – Омск : ОмА МВД России, 2015. – № 3(62). – С. 95–97.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1 **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ**

В.В. Акимов, А.Ф. Мишуров, А.Ю. Грязнов, Е.В. Акимова.
Сибирская государственная автомобильно - дорожная академия, г. Омск, Россия
ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ TiC ОТ СОДЕРЖАНИЯ СВЯЗУЮЩЕЙ ФАЗЫ TiNi 4

В.А. Безрукова[1], Е.Е. Корниенко[1], В.И. Кузьмин[2]
[1]Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия
[2]Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ B_4C-Ni 7

А.С. Денисова, А.А. Никулина, А.А. Охременко
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ 12

К.А. Лозоватская, К.П. Еремина, А.Н. Жавнеров
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРУ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОЙ СТАЛИ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ МАРГАНЦА 110Г13Л 16

Ю.В. Иордан
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ОЦЕНКА ТЕПЛОТЫ ОТ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ СЖИГАНИЕ «СУХИХ» ОТСЕКОВ РАКЕТЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА 19

И.И. Кагарманов, Б.Е. Лопаев
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОСТОЯННОЙ ШЛАКОВОЙ ВАННОЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ГРЕБНЕЙ БАШМАКОВ ТРАКТОРА 22

Г.Г. Крушенко
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия
Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ 25

К.К. Мажитов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ ИЗ МОЛИБДЕНА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ 29

О.Э. Матц, И А. Батаев
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СЛОЁВ НА ТИТАНОВЫХ ПЛАСТИНАХ 33

Ю.*К. Машков*[1], *Б.Ш. Алимбаева*[2], *М.Ю. Байбарацкая*[2]
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
[2]Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, Россия
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 15ХГН2ТА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ 37

С.П. Назаров, Ю.С. Сорокин
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ НАПЫЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА-МОДИФИКАТОРА 42

О.А. Назарова, В.А. Егорова
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ АВТОТРАНСПОРТА В ОМСКЕ..... 46

И.В. Николаев[1], *Е.А. Рогачев*[1], *Е.П. Целых*[2], *Вал.И. Суриков*[1]
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
[2]Омский ФГУП «НПП «Прогресс», г. Омск, Россия
СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ТУГОПЛАВКИХ ПОКРЫТИЙ НА РЕЗИНЕ 50

А.С. Рубан
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск, Россия
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПКМ НА ОСНОВЕ ПТФЭ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА 54

Н.А. Семенюк[1], *Д.П. Коршакова*[1], *Ю.И. Кузнецова*[2], *Вад.И. Суриков*[1], *О.В. Лях*[1]
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
[2]ОАО «Сургутнефтегаз», г. Сургут, Россия
РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ $V_{1-x}Fe_xO_2$ 58

Ю.Д. Тощакова, С.Н. Литунов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ НАКАТНЫХ ВАЛИКОВ КРАСОЧНОГО АППАРАТА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАЮЩЕЙ ГРУППЫ..... 61

Секция 2 **ФИЗИКА И ОБРАЗОВАНИЕ**

И.С. Бетке, А.И. Щелканов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
МАТРИЦЫ ЭЛЕМЕНТОВ ХОЛЛА КАК ОСНОВА ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ 65

С.В. Бирюков[1], А.В. Тюкин[2], Л.В. Тюкина[2]
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
[2]Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск, Россия
МЕТОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В MATLAB 68

С.В. Бирюков[1], Л.В. Тюкина[2], А.В. Тюкин[2]
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
[2]Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск, Россия
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В VISSIM 72

Г.А. Буц, Д.В. Гулаков, Г.С. Никонова, И.В. Никонов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ В СИСТЕМАХ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ 76

В.К. Волкова, А.Г. Дроботун
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ФИЗИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ВУЗА 78

А.С. Горбачев, А.И. Щелканов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ВИБРОДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ДАТЧИКАМИ НА ОСНОВЕ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ 82

В.М. Гордеев, А.И. Щелканов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
МОНИТОР СОСТОЯНИЯ СВИНЦОВО-КИСЛОТНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ С ФУНКЦИЕЙ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ 86

Д.В. Гусаров
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Россия
ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВСТРЕЧНЫМ ВОЗДУХОМ ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ 88

В.А. Егорова, С.В. Данилов, Д.В. Сентемов, К.В. Мажар
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЯ ДИНАМИКИ «СИЛА» В КУРСЕ ФИЗИКИ 90

А.С. Запорожец, А.И. Щелканов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
МИНИАТЮРНЫЙ СИГНАЛИЗАТОР ЭПИЛЕПТИЧЕСКИХ ПРИСТУПОВ НА ОСНОВЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ 93

А.С. Захарченко, Т.А. Сазанова, Н.Г. Эйсмонт
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ НОСИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ, КОТОРЫМИ ПОЛЬЗУЮТСЯ СТУДЕНТЫ ПРИ ОБУЧЕНИИ В ВУЗЕ 95

А.А. Кисабекова[1], М.П. Ланкина[2]
[1]Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова, г.Павлодар, Казахстан
[2]Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия
ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОММУНИКАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 98

В.О. Кропотин, Б.И. Огорелков, А.С. Татевосян
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
РАЗРАБОТКА НОВЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ . 102

Е.Г. Кунц, Е.Г. Андреева
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ П-ОБРАЗНОГО ЖЕЛЕЗООТДЕЛИТЕЛЯ С ДВУМЯ КОНЦЕНТРАТОРАМИ НА ПОЛЮСЕ..... 105

В.Л. Литневский[1], Г.И. Косенко[1], Ф.А. Иванюк[2]
[1]Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, Россия
[2] Институт ядерных исследований, г. Киев, Украина
ОПИСАНИЕ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА РАЗЛИЧНЫХ ИЗОТОПОВ 122 ЭЛЕМЕНТА 109

Н.Ю. Малий, И.В. Никонов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ 113

В.А. Неупокоев[1], С.В. Данилов[2], В.А. Егорова[2]
[1]БОУ «СОШ №126», г. Омск, Россия
[2]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ 116

И.С. Позыгун, Г.М. Серопян, С.А. Сычев
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия
ФОРМИРОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ YBCO/AU/STO 119

Б.А. Рахимбаева[1], М.П. Ланкина[2]
[1]Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан
[2]Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия
ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТА КАК ЭЛЕМЕНТ ИНТЕРАКТИВНОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ПО ФИЗИКЕ 124

Д.Н. Родионова, А.И. Щелканов
Омский государственный технический университет, г.Омск, Россия
ПОРТАТИВНЫЙ ЦИФРОВОЙ ГИГРОМЕТР 127

В.А. Пеннер, Т.В. Несветайло
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КРИВИЗНЫ НКТ 129

М.С. Седельникова, Т.А. Сазанова, Н.Г. Эйсмонт
Омский государственный технический университет г. Омск, Россия
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 132

А.М. Сембаев, А.И. Щелканов[1]
Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Россия.
[1]Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ РЕЗИСТИВНЫХ ТЕНЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ 137

О.М. Сухарева
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С БУДУЩЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОБУЧАЕМЫХ 140

С.А. Сычев, Г.М. Серопян
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия
ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ КИСЛОРОДА ХЛОРОМ И ФТОРОМ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА YBCO КЕРАМИКИ 143

Е.В. Шлякова, Н.А. Толмачева
Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, Россия
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ 149

Н.Г. Эйсмонт, В.В. Даньшина, В.К. Волкова
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ 153