



УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА  
ПО ДЕЛАМ СНГ, СООТЕЧЕСТВЕННИКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ ЗА РУБЕЖОМ,  
И ПО МЕЖДУНАРОДНОМУ ГУМАНИТАРНОМУ  
СОТРУДНИЧЕСТВУ (РОССОТРУДНИЧЕСТВО)  
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

## ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО

Сборник статей  
IV МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«МИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ-2021»

В 3-х томах  
Том 2



09 декабря 2021 г.  
Минск, Республика Беларусь

УДК 620.22-419.8

ББК 35.71

П 27

**Передовые технологии и материалы будущего** : сб. ст. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2021». Минск, 9 декабря 2021 г. [Электронный ресурс]: в 3 т. – Минск : БГТУ, 2021. – Т. 2. – 200 с. – ISBN 978-958-530-958-2

В издании представлены научные статьи, посвященные получению новых композиционных материалов на основе термоэластопластов, технологиям получения поверхностных пленок с заданными свойствами, технологиям, связанных с повышением эксплуатационных свойств изделий, созданию новых устройств контроля, вопросам переработки отходов для получения новых материалов.

Адресовано практикам, преподавателям, научным работникам, аспирантам, студентам I и II ступени получения высшего образования, интересующимся современным состоянием и перспективами развития общества, науки и экономики.

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

*ВОЙТОВ Игорь Витальевич*, ректор Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук, профессор (председатель);

*ЦЫГАНОВ Александр Риммович*, первый проректор Белорусского государственного технологического университета, академик НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (заместитель председателя);

*ШЕТЬКО Сергей Васильевич*, проректор по научной работе Белорусского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент;

*ДОРМЕШКИН Олег Борисович*, директор международного информационно-аналитического центра трансфера технологий Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук, профессор;

*КАЛИНИЧЕНКО Александр Сергеевич*, директор центра «Научно-технологический парк БГТУ» Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук.

ISBN 978-958-530-958-2 (Т. 2)

ISBN 978-958-530-956-8

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2021

## **Секция 2. МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО**

УДК 546.273÷521.633

**З.С. Назаров<sup>1</sup>, Ш.Х. Савзаева<sup>2</sup>, Б.Ш. Назаров<sup>1</sup>,  
Д.С. Азимов<sup>2</sup>, Ш.Б. Назаров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана

<sup>2</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

### **МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС СПОСОБА КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ШЛАМОВОГО ПОЛЯ ГУП «ТАЛКО», ВОДНОЙ ОТМЫВКИ И АЗОТНО-КИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ТВЕРДЕГО ОСТАТКА ОТ ВОДНОЙ ОБРАБОТКИ**

*Аннотация.* В данной работе рассмотрен вопрос составления материального баланса способа комплексной переработки отходов шламового поля ГУП «ТалКо», водной отмывки и азотно-кислотного разложения твердого остатка от водной обработки отходов. Составленный материальный баланс показывает целесообразность применения разработанной технологии, обеспечивающий комплексную переработку отходов производства.

**Z.S. Nazarov<sup>1</sup>, S.K. Savzayev<sup>2</sup>, B.S. Nazarov<sup>1</sup>,  
D.S. Azimov<sup>2</sup>, S.B. Nazarov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Chemistry named after V. I. Nikitin NAS Tajikistan

<sup>2</sup>Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

### **MATERIAL BALANCE OF THE METHOD OF COMPLEX PROCESSING WASTE SLUDGE FIELD SUE "TALCO", WATER WASHING AND NITRIC ACID DECOMPOSITION OF SOLID RESIDUE FROM WATER TREATMENT**

*Abstract.* In this paper, the issue of drawing up the material balance of the method of complex waste processing of the sludge field of SUE "TalCo", water washing and nitric acid decomposition of the solid residue from the water treatment of waste is considered. The compiled material balance shows the expediency of using the developed technology, which provides complex processing of production waste.

Для данной технологии материальный баланс составлен на основании двух основных технологических процессов: для водной обработки исходных отходов шламового поля и азотнокислотной разложении твердого криолит- глинозёмного остатка от водной

обработки отходов. Баланс технологии составлен на основании растворение солей отходов в воде и реакций взаимодействия исходных и промежуточных продуктов для каждой стадии переработки сырья и остатков. Баланс включает в себя процессы отмывки водорастворимых солей исходных отходов шламового поля и разложения твёрдого остатка от водной обработки спека азотной кислотой, кроме того, при этом учтены процессы разделения продуктов с получением жидкой и твердой фаз в отдельности. Баланс полностью учитывает массу потока исходных материалов и продуктов для каждой стадии технологического процесса [1-4].

Для составления материального баланса учитывали химический состав взятых для экспериментов пробы отходов шламового поля ГУП «ТалКо» в количестве 1 тонны. В состав отходов входят, фтор соли, сульфаты и карбонаты натрия, в частности  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - 0,250 т, ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ ) - 0,110 т,  $\text{NaF}$  - 0,140 т,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 0.165 т, криолит ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) - 0,173 т, графит (С) - 0,162 т, оксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) - 0.0003т, оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) - 0.0004т. Материальный баланс разработанного способа представлен в таблице 1.

**Таблица 1**

<b>1. Водная обработка отходов шламового поля ГУП «ТАЛКО»</b>				
<b>№</b>	<b>Приход</b>		<b>Расход</b>	
	Исходные вещества	тонна	Продукты	тонна
<b>1.</b>	<i>Исходные отходы шламового поля ГУП «ТАЛКО»</i> в том числе: $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ ) $\text{NaF}$ $\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ С (графита) оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	<b>1</b>  0,250 0,110 0,140 0,165 0,173 0,162 0.0003 0.0004	<i>Водорастворимые компоненты - раствор:</i> 1. $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 2. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ 3. $\text{NaF}$ 4. $\text{H}_2\text{O}$ <i>Водо нерастворимые компоненты - твердый остаток:</i> $\text{Al}_2\text{O}_3$ -оксид алюминия $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - гематит $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ С (графита) $\alpha$ -кристобалит ( $\alpha$ - $\text{SiO}_2$ )	  0,250 0,110 0,140 8,00  0.165 0.0004 0,173 0,162 0.0003
<b>2.</b>	<b>Вода для обработки спека</b>	8,00		
	<b>Итого:</b>	<b>9,00</b>	<b>Итого:</b>	<b>9,00</b>

Расчёты по расходу азотной кислоты для разложения твердого силикатного остатка от водной обработки отходов представлено в таблице 2.

**Таблица 2 - Расчёты по расходу азотной кислоты при разложении твёрдого криолит глиноземного остатка от водной обработки спека**

№	Химические уравнение реакций лежащие в основу азотно-кислотного разложения твердого криолит- глиноземного остатка от водной обработки отходов шламового поля	Расход кислоты, тонна
1.	$Al_2O_3 + 6HNO_3 = 2Al(NO_3)_3 + 3H_2O$ 0,165 т    0,612 т    0,689 т    0,087 т 101.96 т   378.00 т   426.00 т   54.06 т	0,612
2.	$Fe_2O_3 + 6HNO_3 = 2Fe(NO_3)_3 + 3H_2O$ 0.0004 т    0,0009 т    0,0012 т    0,0001 т 159.70 т    378.00 т    490,00 т    54.06 т	0,0009
3	Расход азотной кислоты по стехиометрии, тонна	0.613
4.	Расход 20% - ной азотной кислоты по стехиометрии, тонна	3,065
5.	Расход воды для приготовления 20% - ной кислоты	2,452
6.	Расход 20% -ной азотной кислоты по стехиометрии при дозировке 125%	3,831

Таким образом, при водной обработке отходов шламового поля ГУП «ТалКо» извлекаются водорастворимые компоненты раствора: 1.  $Na_2SO_4$  - 0,250 т; 2.  $Na_2CO_3 + NaHCO_3$  - 0,110 т; 3.  $NaF$  - 0,140, которые после разделения  $NaF$  могут быть использованы в производстве стекла. Фторид натрия используется при производстве криолита.

А из водо- нерастворимых компонентов твердого остатка ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_3AlF_6$ , С (графит) и  $\alpha-SiO_2$ ) при азотнокислотной разложении получается: 0,689 т  $Al(NO_3)_3$ , 0,0012 т  $Fe(NO_3)_3$ . Кроме того 0,173 т  $Na_3AlF_6$ , 0,162 т С (графита) и 0.0003 т  $\alpha-SiO_2$  (белая сажа) не изменой форме то же после разделения являются продуктами имеющие места своего использования: криолит для процесса электролиза алюминия, графит после очистки от примесей для производства электродов и кремнезем в производстве строительных материалов.

### Список использованных источников

1. Назаров З.С. К вопросу о реализации комплексной технологии производства алюминия электролизом в Таджикистане / З.С. Назаров, Ш.Б. Назаров, З.С. Тураева, Ш.Х. Савзаева, // Материалы международной научно- практической конференции перспектива развития науки и образования, г. Душанбе, Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими. 2019 г., с.484-489.

2. Тураева З.С. Кинетика процесса соляно-кислотного разложения твердого силикатного остатка от водной обработки спека, полученного переработкой нефелиновых сиенитов Турпи и хлорида магния. / З.С. Тураева, Ш.Х. Савзаева, Б.Ш. Назаров, Ш.Б. Назаров // Научно-практический журнал «ЭНИГМА», Выпуск №35, 2021г., с. 54-63.

3. Mai Trong Ba. Effects of AC frequency on the Physicochemical Characteristics of water / Mai Trong Ba, Azimov Dodarbek Sadridinovich, Knyazev Alexander Sergeevich and Ivakhnyuk Grigory Konstantinovich // Key Engineering Materials, 2017. - Volume 743. – pp. 326-330.

4. Савзаева Ш.Х. Физико-химические основы переработки алунитового сырья Токмакского месторождения методом спекания с хлоридом кальция. / Ш.Х. Савзаева, Ш.Б. Назаров, Д.С. Азимов // Материалы VI Международной научной конференции. «Донецкие чтения» 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Том 1. Механико - математические, компьютерные и химические науки, управление. г. Донецк, 26 - 27 октября 2021 г. Издательство Дон. НУ. 2021г., с. 282-284.

УДК 546.273÷521.633

**З.С. Тураева<sup>1</sup>, Б.Ш. Назаров<sup>1</sup>,  
Ш.Б. Назаров<sup>1</sup>, Д.С. Азимов<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup>Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана

<sup>2</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

## **ПОЛУЧЕНИЕ КРИОЛИТА ИЗ СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ**

*Аннотация.* В настоящей работе рассматривается вопрос получения криолита из сульфата алюминия путем обработки её раствора фторидом натрия. Исследованы влияние различных физико-химических факторов влияющие на процесс образования криолита и найдены оптимальные технологические режимы проведения процесса. Степень образования криолита составляет свыше 98%.

**Z.S. Turayeva<sup>1</sup>, B.S. Nazarov<sup>1</sup>,  
S.B. Nazarov<sup>1</sup>, D.S. Azimov<sup>2</sup>**

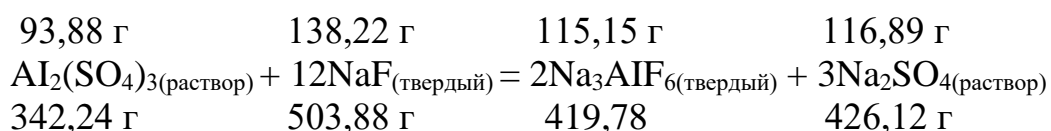
<sup>1</sup>Institute of Chemistry named after V. I. Nikitin NAS Tajikistan

<sup>2</sup>Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

## **PRODUCTION OF CRYOLITE FROM ALUMINUM SULFATE**

*Abstract. In this paper, the issue of obtaining cryolite from aluminum sulfate by treating its solution with sodium fluoride is considered. The influence of various physico-chemical factors affecting the cryolite formation process has been investigated and optimal technological modes of the process have been found. The degree of cryolite formation is over 98%.*

Серноокислый раствор, содержащий:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ -93,88 г/л;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ -13,50 г/л;  $\text{K}_2\text{SO}_4$ -9,1 г/л;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -12,6 г/л; получен из алунитов месторождения Токмак. Руду следующего химического состава (в,%): 27,5  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 7,2  $\text{K}_2\text{O}$ ; 0,15  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 26,3  $\text{SO}_3$ ; 1,3  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 1,08  $\text{CaO}$ ; 24,1  $\text{SiO}_2$  и п.п.п-12,37 подвергали спеканию при температуре 650 °С, а полученный спек обрабатывали - 20 % -ным раствором серной кислоты при 100 °С в реакторе для разложения. Полученную серноокислую пульпу разделяли фильтрацией на твердую фазу, представляющую собой соединение кремнезема, и жидкую, состоящую из сульфатов алюминия, железа, калия, натрия и др. Компоненты раствора известным методом разделили на  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [1-3]. Далее серноокислый раствор алюминия обработали фторидом натрия. С этой цели полученный раствор, содержащий 93,88 г  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  помещалось в реактор снабженной мешалкой и туда же добавили фторид натрия из расчета уравнения реакции взаимодействия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  с  $\text{NaF}$ , а также воду для образования хорошо смешиваемую пульпу из расчета твердой к жидкой фазы равной Т:Ж = 1:10÷15. Образование криолита протекает по следующей схеме химической реакции:



Для установления оптимальных условий обработки серноокислых солей алюминия с фторидом натрия изучали влияние различных физико-химических факторов на процесс образования криолита. Основные результаты опытов представлены в таблице 1.

На основании полученных результатов оптимальными условиями проведения процесса можно считать: температуру обработки - 50 - 100 °С; продолжительность процесса - 20 - 40 мин; дозировка  $\text{NaF}$  - 100 % от стехиометрии; отношение Ж:Т- 6:1÷10:1.

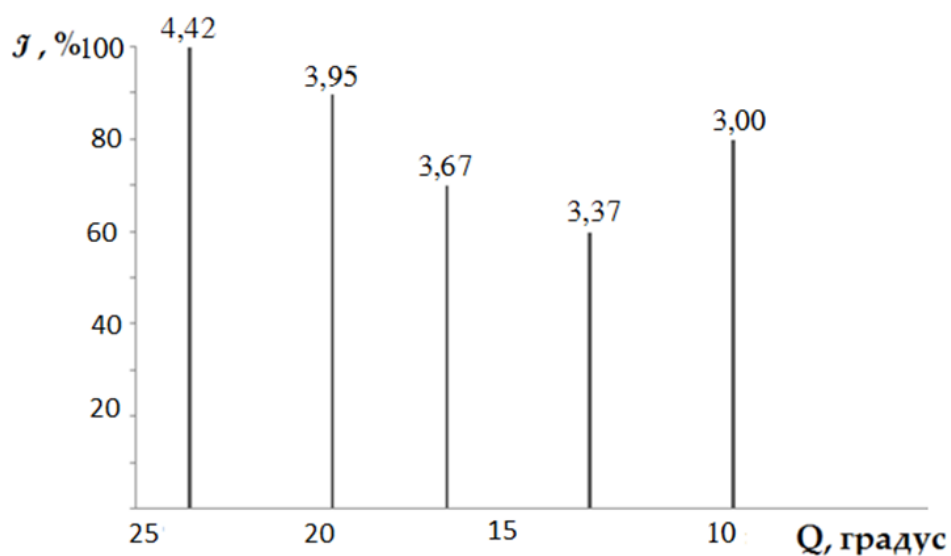
**Таблица 1 - Влияние физико-химических факторов на степень образования криолита и сульфата натрия**

**Table 1 - The influence of physic-chemical factors on the degree formation of cryolite and sodium sulfate**

№ п/п	Температура обработки, °С	Длительность процесса, мин	Соотношение Ж:Т	Дозировка NaF, %	Степень образования компонентов, %	
					Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1.	10	30	10:1	100	90,1	88,7
2.	20	30	10:1	100	94,3	94,3
3.	40	30	10:1	100	97,3	97,6
4.	60	30	10:1	100	99,5	99,4
5.	80	30	10:1	100	100,0	99,8
6.	100	30	10:1	100	100,0	100,0
7.	100	5	10:1	100	86,7	86,4
8.	100	10	10:1	100	95,8	95,8
9.	100	20	10:1	100	98,8	98,9
10.	100	30	10:1	100	100	99,3
11.	100	40	10:1	100	100	99,8
12.	100	60	10:1	100	100	100
13.	90	40	2:1	100	85,6	85,4
14.	90	40	4:1	100	89,7	90,3
15.	90	40	6:1	100	95,3	95,3
16.	90	40	8:1	100	99,6	99,6
17.	90	40	10:1	100	100	99,8
18.	90	40	15:1	100	100	99,9
19.	100	30	10:1	90	90	90
20.	100	30	10:1	95	95	95
21.	100	30	10:1	100	100	99,7
22.	100	30	10:1	103	100	99,8
23.	100	30	10:1	105	100	100

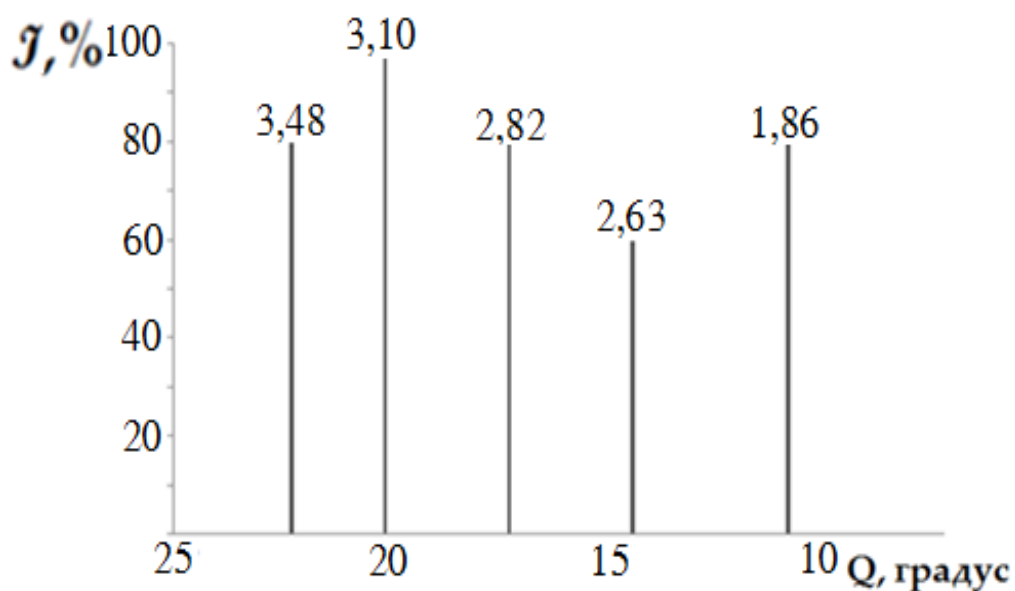
С целью идентификации продуктов реакции, взаимодействия сульфата алюминия и фторида натрия, а также химических процессов, протекающих, при взаимодействии солей провели рентгенофазовый анализ исходных и продуктов реакций. Анализы подтвердили исходную форму нахождения сульфата алюминия соответствующему минералу алуноген -  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , которому приходится следующие рентгеновские линии: 4,42, 3,95, 3,67, 3,37, 3,00 (рис. 1)..





**Рис. 1 - Штрих-диаграмма сульфата алюминия -  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$**   
**Fig. 2 Bar chart of aluminum sulfate -  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$**

Сульфат натрия после высокотемпературной сушки и удаления кристаллизационной воды находится в форме минерала тенардит, имеющий следующие рентгеновские характеристики, показателя угла вращения: 3,48, 3,10, 2,82, 2,63, 1,86.



**Рис. 2 - Штрих-диаграмма сульфата натрия -  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - тенардит**  
**Fig. 2 - Bar chart of sodium sulfate -  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - tenardite**

Из рентгенограммы видно, что в составе жидкой фазы от переработки сернокислого алюминия и фторида натрия образуется

сульфат натрия (рис. 2). Натрий находится в виде минерала - мирабилита-  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , который после сушки превращается в тенардит -  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Твёрдую фазу пульпы от переработки  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  с  $\text{NaF}$ , которая представляет собой криолит, сушили при  $200^\circ\text{C}$ , и подвергали рентгенофазовому анализу. Результаты анализа подтверждают существование криолита с дифракционной линией 4,47, 4,87, 2,75, 2,33, 2,26, 1,04.

На основании полученных результатов исследований можно представить следующую принципиальную технологическую схему получения криолита из сернокислых солей алюминия (рис. 3).

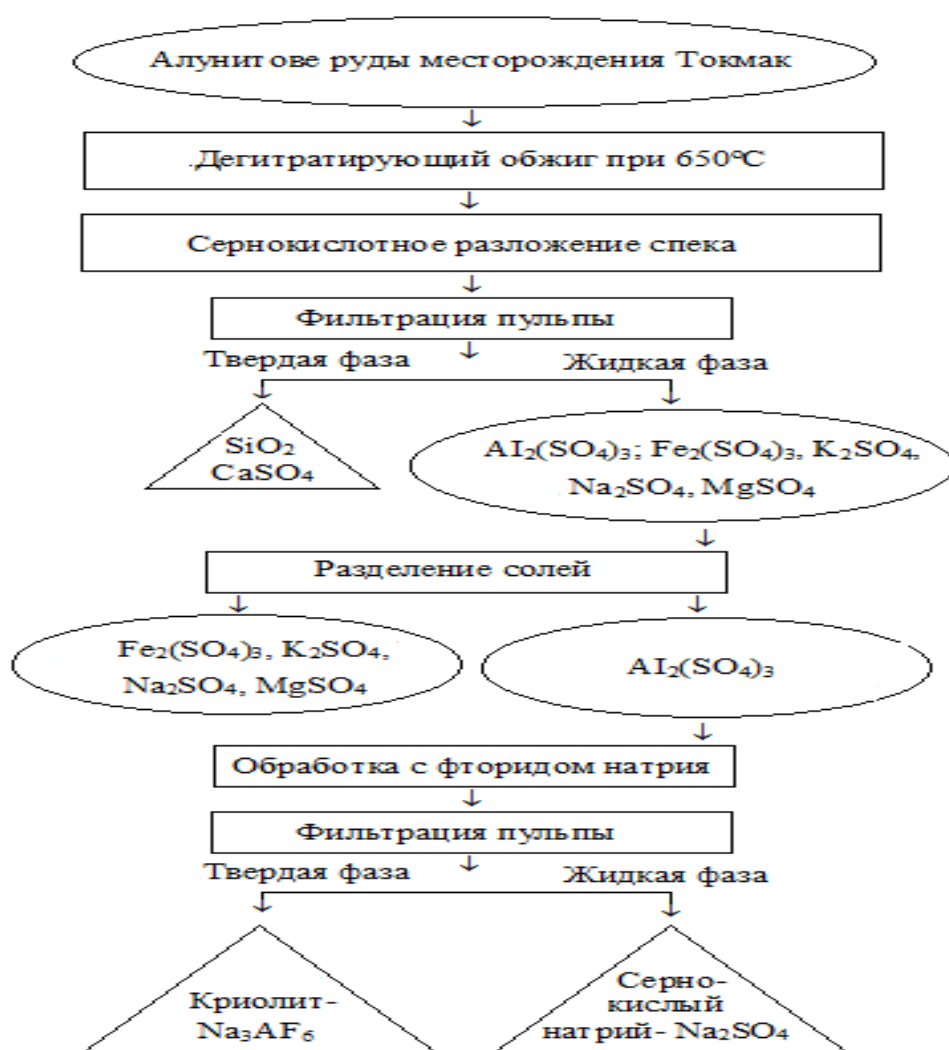


Рис. 3 - Принципиальная технологическая схема переработки сернокислых солей алюминия на криолит

## Список использованных источников

1. Назаров, Ш.Б. Селективные методы разложения высококремнистых алюминиевых руд минеральными кислотами / Ш.Б. Назаров, Х.С. Сафиев, У.М. Мирсаидов. - Душанбе, 2008. - 237 с.
2. Тураева З.С., Савзаева Ш.Х., Назаров Ш.Ш., Назаров Ш.Б. Переработка нефелиновых сиенитов месторождения Турпи методом спекания с хлоридом магния. Научно-практический журнал «ЭНИГМА», Выпуск №35, 2021 г., с. 54-63.
3. Савзаева Ш.Х., Назаров Ш.Б., Азимов Д.С. Физико-химические основы переработки алунитового сырья Токмакского месторождения методом спекания с хлоридом кальция. /Савзаева Ш.Х., Назаров Ш.Б., Азимов Д.С. // Материалы VI Международной научной конференции. «Донецкие чтения» 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Том 1. Механико - математические, компьютерные и химические науки, управление. г. Донецк, 26 - 27 октября 2021 г. Издательство Дон. НУ. 2021г., с. 282-284.

УДК 678.7:593.3

**Ю.В. Юркин, В.В. Авдонин, Д.А. Варанкина, Р.С. Рогожкин**  
Вятский государственный университет  
Киров, Российская Федерация

## **МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

*Аннотация.* Разработка новых композиционных материалов на основе термоэластопластов, обеспечивающих эффективное гашение вибраций природного и техногенного характера в широком температурном диапазоне, является одной из актуальных задач. В данной статье проводятся испытания термоэластопластов на основе СЭБС и СБС под воздействием циклических нагрузок.

**Yu.V. Yurkin, V.V. Avdonin, D.A. Varankina, R.S. Rogozhkin**  
Vyatka State University  
Kirov, Russian Federation

# MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON THERMOPLASTIC ELASTOMERS UNDER CYCLIC LOADS

*Abstract.* The development of new composite materials based on thermoplastic elastomers that provide effective damping of natural and man-made vibrations in a wide temperature range is one of the urgent tasks. This article tests thermoelastoplastics based on SEBS and SBS under the influence of cyclic loads.

## Введение

Системы пассивного рассеивания энергии, или вибродемпферы, широко используются в транспортной, строительной, аэрокосмической и бытовой промышленности для уменьшения вибраций и шума механических систем. Демпферы обычно применяются в опорных частях зданий и сооружений, чтобы предотвратить передачу вибраций и шума [1].

Одним из видов вибродемпферов являются армированные эластомерные опоры, которые используются более 70 лет в строительстве мостов и зданий [2]. В последнее время эти устройства также использовались для защиты от землетрясений и систем изоляции, имея улучшенные характеристики с точки зрения надежности и низкой стоимости по сравнению с другими системами вибродемпферов [3].

Задача эластомерных опорных частей заключается в выравнивании напряжений на стыках, обеспечении свободного вращения элементов на опорах и в радикальном снижении горизонтальных сил, вызванных: усадкой, влиянием температуры и деформацией конструкции. Эластомерные демпфирующие подкладки предназначены для подавления вибрации и шума в зданиях гражданского и промышленного назначения, они предотвращают структурные повреждения и устраняют затраты на ремонт и техническое обслуживание.

В настоящее время эластомерные опоры изготавливают либо из натурального каучука, либо из синтетических резиновых смесей [4]. Однако данный тип материалов в настоящее время активно вытесняется термоэластопластами (ТРЕ) – материалами, имеющими обратимые поперечные связи, которые могут быть произведены как термопласты и обладают эластичными свойствами, аналогичными свойствам вулканизованных традиционных эластомеров. Основными драйверами для расширения ТРЕ являются очевидная упрощенная обработка с меньшим количеством этапов производства, практически полное исключение брака, гораздо более короткие циклы, меньшее

потребление энергии и меньшие объемные затраты. Предполагается, что ТРЕ будут использоваться в амортизаторах, материалах в автомобилях, спортивном оборудовании и другом механическом оборудовании [5]. В этой статье мы оценим возможность использовать стирольные ТРЕ в качестве вибропоглощающего материала для опор зданий.

## Материалы и методы

### 1. Материалы

Для разработки данного композиционного материала в качестве компонентов для смеси ПП/термоэластопласт в первом случае был выбран полипропилен марки ПП-30 (Сибур, Россия) и СЭБС (стирол-этилен-бутилен-стирольный каучук) компании LСУ, Тайвань, во втором – полипропилен марки ПП-30 (Сибур, Россия) и СБС (стирол-бутадиен-стирольный каучук) марки Р 30-00 (ВОРОНЕЖСИНТЕЗКАУЧУК, Сибур, Россия). В качестве пластификатора использовалось индустриальное масло И-40, в качестве наполнителя – мел МИКАРБ (Геоком, Россия).

### 2. Метод приготовления смеси

Смешение компонентов происходило в микросмесителе типа Брабендер при температуре 180 °С, время смешивания – 20 минут. Затем материал помещался в термопластавтомат, расплавлялся при температуре 200°С и отливался в пресс формы для дальнейших испытаний. Составы образцов представлены в таблице 1.

### 3. Измерения

Механические испытания на растяжение тестовых образцов эластомерных подкладок (рис.1) проводились на испытательной машине AG-5 KNX (ф. Shimadzu) со скоростью 500 мм/мин на образцах в форме гантелей в соответствии с условиями, описанными в ГОСТ 270.

**Таблица 1 - Составы образцов**

Компоненты	Состав термоэластопласта на основе		Плотность (г/см <sup>3</sup> )
	ПП/СЭБС	ПП/СБС	
	Массовая доля (г)	Массовая доля (г)	
СЭБС	22	-	1,1
СБС	-	22	0,94
ПП	8	8	0,92
Индустриальное масло И-40	30	30	0,9
Мел	40	40	2,44



Рис. 1 - Образцы в форме гантелей.

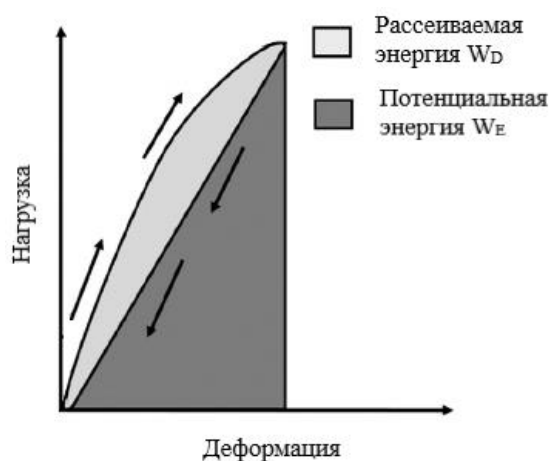


Рис. 2 - Схематическая диаграмма цикла разгрузки-загрузки, показывающая количество рассеиваемой энергии.

На рис. 2 представлена схематическая диаграмма цикла разгрузки-загрузки и сформированной петли Гистерезиса со стрелками, указывающими последовательность разгрузки и повторной загрузки (ГОСТ 252). Рассеиваемая энергия, или гистерезисные потери энергии,  $W_D$ , соответствует площади, заключенной в этой петле гистерезиса, в то время как область под нижним путем (разгрузочная часть) кривой гистерезиса представляет собой запасенную упругую энергию,  $W_E$ . Удельную рассеиваемую и упругую энергии определяли делением  $W_D$  и  $W_E$  на начальный объем образца. Удельная демпфирующая способность – это отношение энергии, рассеиваемой за пять циклов, к упругой или потенциальной энергии, запасенной в этом цикле [6,7]. Она определялась по формуле:

$$\Psi = W_D / W_E \quad (1)$$

Эквивалентная жёсткость при 100% удлинении ( $\epsilon_{100}=1$ ) определялась по формуле:

$$E_{100} = \sigma_{100} / \epsilon_{100} \quad (2)$$

где  $\sigma_{100}$  – напряжение при 100% удлинении.

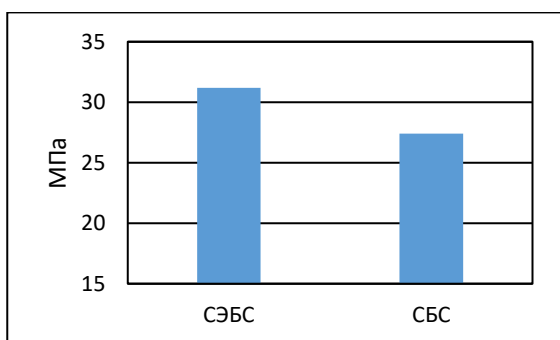
Механические испытания на твёрдость тестовых образцов эластомерных подкладок проводились с помощью твердомера на образцах в форме дисков (рис. 3) в соответствии с условиями, описанными в ГОСТ 263.



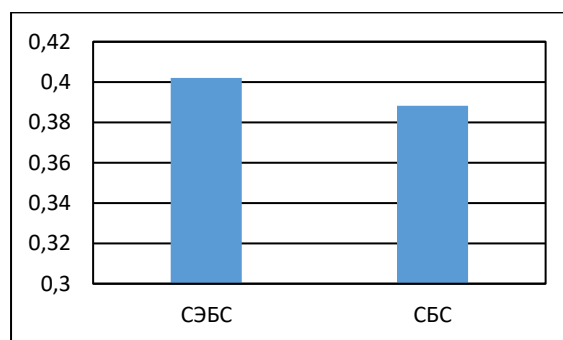
**Рис. 3 - Образцы в форме дисков.**

### **Результаты и обсуждение**

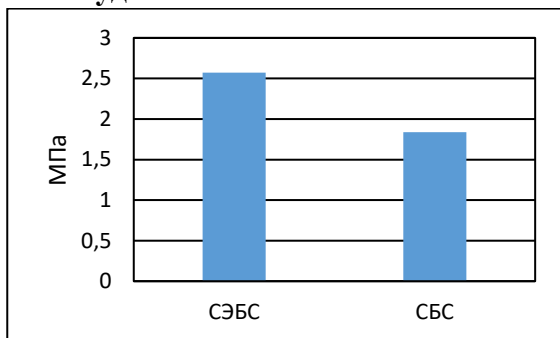
Сравнивая материалы на основе СЭБС и СБС можно заметить, что все механические характеристики (эквивалентная жёсткость при 100% удлинении, удельная демпфирующая способность, максимальная прочность и максимальное удлинение) у материала на основе СЭБС оказались выше (рис. 4-7).



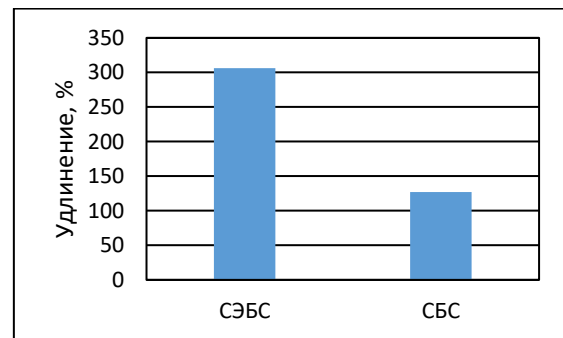
**Рис. 4 - Эквивалентная жёсткость при 100% удлинении.**



**Рис. 5 - Удельная демпфирующая способность.**

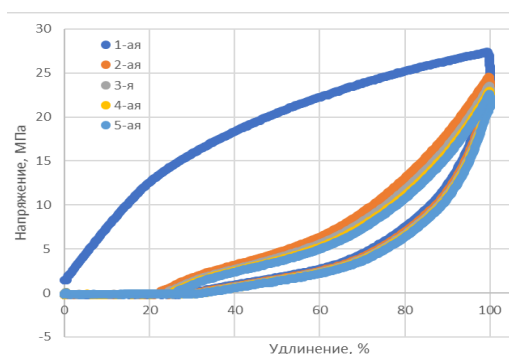


**Рис. 6 - Прочность при 100% удлинении.**

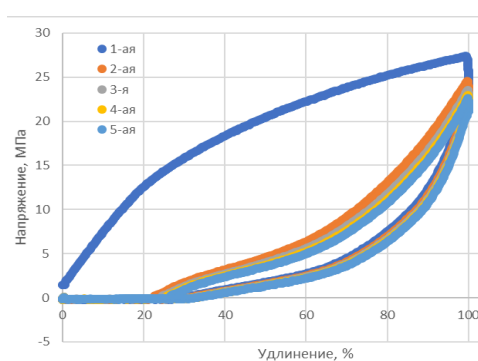


**Рис. 7 - Максимальное относительное удлинение.**

Оба композита были подвергнуты многократным циклическим нагрузкам с одинаковой деформацией. Реакции на циклические растяжения композитов показаны на рис. 8, 9.



**Рис. 8 - Реакция на циклические растяжения композита на основе СЭБС.**



**Рис. 9 - Реакция на циклические растяжения композита на основе СБС.**

Между первым циклом загрузки-разгрузки появляется большая петля гистерезиса, в то время как для последующих циклов нагрузки можно наблюдать гораздо меньшие петли. Также после первого цикла загрузки-разгрузки появляется остаточная деформация величиной в 20%, которая не увеличивается с последующими циклами. Это говорит о том, что все разрушения внутри структуры композита в основном происходят на первом цикле. Характер гистерезиса при использовании разных базовых композитов существенно не изменился.

### **Заключение**

В ходе работы были исследованы следующие механические характеристики материалов: эквивалентная жёсткость при 100% удлинении, удельная демпфирующая способность, максимальная прочность, максимальное удлинение и реакции на циклическое растяжение.

Испытания показали, что стирольные термоэластопласты имеют потенциал для их использования в качестве демпфирующих материалов: у них достаточно высокая прочность, высокие эластические свойства и самое главное, высокие вибропоглощающие свойства.

### **Благодарность**

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00301, <https://rscf.ru/project/21-79-00301/>.*

### **Список использованных источников**

1. H.S. Kim, B. Kim, S.K. Park, S.H. Lee, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 48, 919 – 931 (2012)
2. Kelly J.M. Earthquake resistant design with rubber. 2nd ed. London: Springer;1997.



3. A. Strauss, E. Apostolidi, T. Zimmermann, U. Gerhaer, S. Dritsos. Experimental investigations of fiber and steel reinforced elastomeric bearings: Shear modulus and damping coefficient. *Engineering Structures*, **75 (15)**, 402-413 (2014)
4. W. Wei, Y. Yuan, A. Igarashi, H. Zhua, P. Tanc. Experimental investigation and seismic fragility analysis of isolated highway bridges considering the coupled effects of pier height and elastomeric bearings. *Engineering Structures*, **233 (15)**, 111926 (2021)
5. A. V. Kaliyathan, A.V.Rane, K.Kanny, H.J.Maria, S.Thomas. Thermoplastic Elastomers for Shock Absorbing Application. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Elsevier. 2021
6. S. Liu, et al., *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, **78**, 35-41 (2015)
7. J. Zhang, R.J. Perez, E.J. Lavernia, *J. Mater. Sci.* **28 (9)**, 2395–2404 (1993).

УДК 541.183.553.61

**Д. Хандамова, Б. Шодмонов, Х.С. Толипова,  
З.С. Алихонова, Ш.П. Нуруллаев**  
Ташкентский химико-технологический институт

### **ОЧИСТКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ КИСЛЫХ ГАЗОВ АДСОРБЕНТОМ МОДИФИЦИРОВАННЫМ ТМА И ТЭА**

*Аннотация.* В работе приведены результаты поглотительной способности адсорбентов на основе Навбахорского бентонита модифицированных триметил-аммония (ТМА) и триэтиламмония (ТЭА), их регенерируемость и кинетические характеристики реакции взаимодействия с кислыми газами. Адсорбенты кроме большой поглотительной способности обладают термической стабильностью

**D. Xandamova, B. Shodmonov, X.S.Tolipova,  
Z.S. Alixonova, Sh.P. Nurullaev**  
Tashkent chemical – technological institute

### **PURIFICATION OF HYDROCARBON ACID GASES WITH ADSORBENT MODIFIED TMA AND TEA**

*Abstract.* The paper presents the results of the absorption capacity of adsorbents based on Navbakhor bentonite modified with trimethylammonium (TMA) and triethylammonium (TEA), their regenerability and kinetic characteristics of the reaction

of interaction with acid gases. Adsorbents, in addition to their high absorption capacity, have thermal stability.

В настоящее время одной из важнейших задач современной коллоидной химии является получение материалов с заранее заданными свойствами [1-2]. В этом отношении большое значение приобретает проблема регулирования свойств поверхности для таких материалов как адсорбенты, носители, катализаторы, эффективное участие которых в различных технологических процессах обусловлено именно поверхностными свойствами, таких как природой активных центров, пористостью и др. [3].

В работе приведены результаты исследования поглотительной способности адсорбентов на основе Навбахорского бентонита модифицированных ТМА и ТЭА. Поглотительная способность адсорбентов по отношению к кислым компонентам ( $H_2S$  и  $CO_2$ ) и влаги, их регенерируемость, а также кинетические характеристики реакции взаимодействия с кислыми газами определяли с применением модельного газа, состоящего из 1,98 % объем. Сероводорода и 98,02 % объем. азота и реальных углеводородных газов, поступающих на установки получения серы ШГХК. Поглотительная способность по отношению к сероводороду, определенная с помощью модельного газа, представлена на рис. 1 и 2.

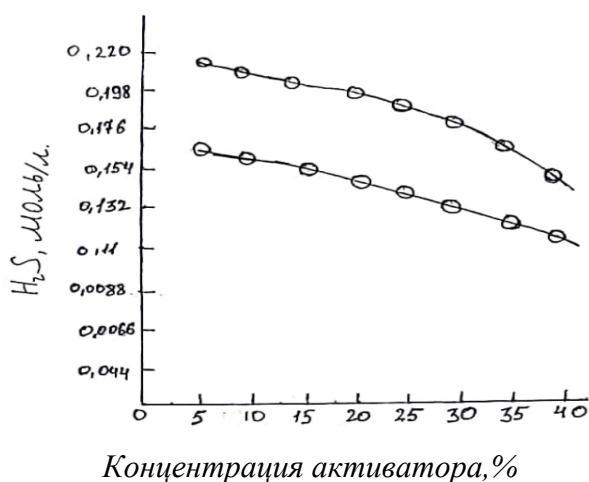
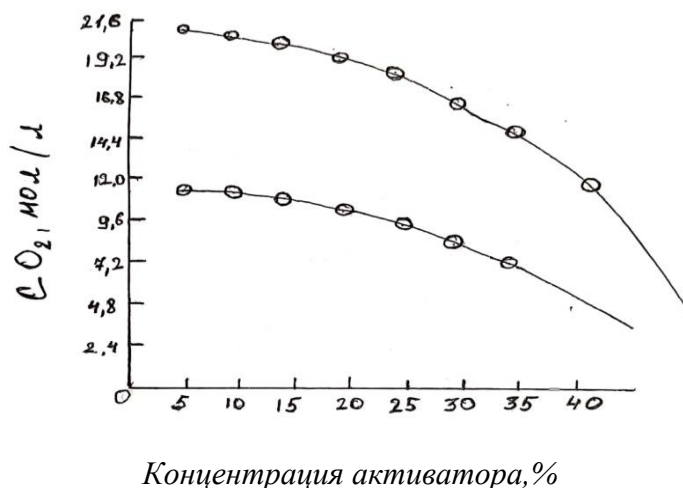


Рис. 1 - Влияние концентрации активаторов на поглощение сероводорода.



**Рис. 2 - Зависимость степени поглощения CO<sub>2</sub> кислых газов от концентрации активаторов**

Поглотительная способность адсорбента модифицированного ТМА (до 10-15% масс.) с концентрацией 5-10% обладает большой сорбционной способностью и составляет 0,20-0,21 моль/л по H<sub>2</sub>S и 20,6-21,0 моль/л по CO<sub>2</sub>, в то время как в отношении широко применяемых в настоящее время импортируемых из-за зарубежных стран поглощает на 40% больше сероводорода и 60% CO<sub>2</sub>. С увеличением концентрации ТМА и ТЭА в составе бентонита Навбахорского месторождения поглотительная способность снижается, что это связано полярностью среды. Проведенные на модельном газе испытания подтверждают предположения о повышенной поглотительной способности адсорбентов полученных на основе Навбахорского бентонита и модифицированных с растворами ТМА и ТЭА по отношению к сероводороду и окиси углерода по сравнению с используемых импортных адсорбентов.

Результаты изучения кинетических закономерностей адсорбционной способности Навбахорского бентонита модифицированного с ТМА и ТЭА приведены в табл. 1-2.

Таким образом, впервые изучены поглотительные способности адсорбентов, полученных на основе Навбахорского бентонита и модифицированных с растворами ТМА и ТЭА, по сравнению с применяемых в настоящее время адсорбентов на ШГХК.

**Таблица 1 - Расчетные кинетические характеристики отдельной адсорбции и десорбции кислых газов.**

<b>Процессы</b>	<b>Бентонит с ТМА</b>		<b>Бентонит с ТЭА</b>	
	Энергия активации кДж/моль	Предэкспоненциальный множитель	Энергия активации, кДж/моль	Предэкспоненциальный множитель
<i>Адсорбция сероводорода</i>	18,0	13,5	20,0	14,2
<i>Десорбция сероводорода</i>	20,5	35,2	21,0	36,8
<i>Адсорбция углекислого газа</i>	15,5	11,9	17,0	16,4
<i>Десорбция углекислого газа</i>	16,8	1,9	18,5	3,1

**Таблица 2 - Расчетные кинетические характеристики совместной адсорбции и десорбции кислых газов**

<b>Процессы</b>	<b>Бентонит с ТМА</b>		<b>Бентонит с ТЭА</b>	
	Энергия активации кДж/моль	Предэкспоненциальный множитель	Энергия активации, кДж/моль	Предэкспоненциальный множитель
<i>Адсорбция сероводорода</i>	21,0	54,5	23,0	41,2
<i>Десорбция сероводорода</i>	22,5	23,5	25,5	38,5
<i>Адсорбция углекислого газа</i>	17,0	14,3	20,0	18,5
<i>Десорбция углекислого газа</i>	18,5	4,9	21,0	8,5

Установлено, что увеличение концентрации триметиламмония (ТМА) и триэтиламмония (ТЭА) в бентонитах приводит к увеличению сорбционной способности кислых газов. При этом оптимальной концентрацией растворов ТМА и ТЭА является 10-15 %. Выявлено, что модифицированные адсорбенты кроме большой поглотительной способности обладают термической стабильностью.

#### **Список использованных источников**

1. Комплексное исследование бентонитовых глин перспективных месторождений Узбекистана //Universum: технические науки: электрон, научный журнал. Сабиров Б.Т. и др., 2020, № 8 (77). Vol 10. Issue 1. January, 2021,-271-276 p.
2. D.K. Xandamova, Sh.P.Nurullaev. Properties of metanole vapor adsorption in carbonate-polygostkile Navbahor bentonite. Asian Journal of Multidimensional Research.
3. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М., Химия, 1989, -464 с.

УДК: 699.86

**А.Е. Андрейчик, С.И. Синица**

Белорусский государственный аграрный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

### **ТЕРМОЧЕХЛЫ – ЭФФЕКТИВНАЯ ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ**

*Аннотация.* Термочехлы – съемно-разъемные кожухи многоразового использования, изготовленные из высокопрочных технических тканей и теплоизоляционных материалов. В работе рассматриваются вопросы энергоэффективности применения термочехлов.

**A. E. Andreihyk, S.I. Sinitsa**

Belarusian State Agrarian Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

### **THERMAL COVERS - EFFECTIVE EQUIPMENT PROTECTION**

*Abstract.* Reusable removable-detachable thermal covers casings made of high-strength technical fabrics and heat-insulating materials. The paper deals with the energy efficiency of the use of thermal covers.

Государственная программа 2021-2025 гг. Республики Беларусь предусматривает открытие новых производств, развитие гибких форм трудовых отношений, создание новых рабочих мест на основании кооперации труда между различными отраслями АПК. Прежде всего – это радикальное улучшение условий жизни сельчан путем строительства и обновления агрогородков.

Каждый такой городок будет иметь водоснабжение, телефон, газ, улицы с твердым дорожным покрытием, разветвленное транспортное сообщение.

Теплообменники – составная часть системы отопления в тепловых пунктах и котельных, где проходит процесс передачи тепла от одной среды к другой, от пара – к воде. Процесс связан с большими теплотерями. Термочехол – это современное решение, которое используется для обработки технологического оборудования. С его помощью можно добиться снижения теплотер до 95 %, а уровня шума – до 30 Дб.

Термочехлы получили широкое распространение в промышленности и сельском хозяйстве как экономичное решение по защите оборудования.

Их применение позволяет решить следующие задачи:

- поддержание требуемой температуры воздуха (или поверхности обогреваемого объекта) во внутреннем объеме термочехла с целью обеспечения работоспособности оборудования в условиях отрицательных температур;

- снижение теплотер с поверхности оборудования (трубопроводы, запорная арматура, резервуары и т.д.), а также защита персонала от ожогов.

Термочехлы применяются для тепловой изоляции участков трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, фланцевых соединений, фильтров, различного ёмкостного оборудования и оборудования сложной конфигурации, в системах горячего водоснабжения, паропроводах, воздуховодах, теплообменниках, выхлопных системах, а также для оборудования требующего периодического доступа персонала для проведения регламентных работ и ревизий.

Зачастую, теплообменники не изолируются. Нагретые до температуры +150°C, они повышают температуру в помещении, которое не сможет соответствовать санитарным и температурным нормам. Следует защитить персонал, сохранить окружающее оборудование от перегрева и выделяющегося конденсата.

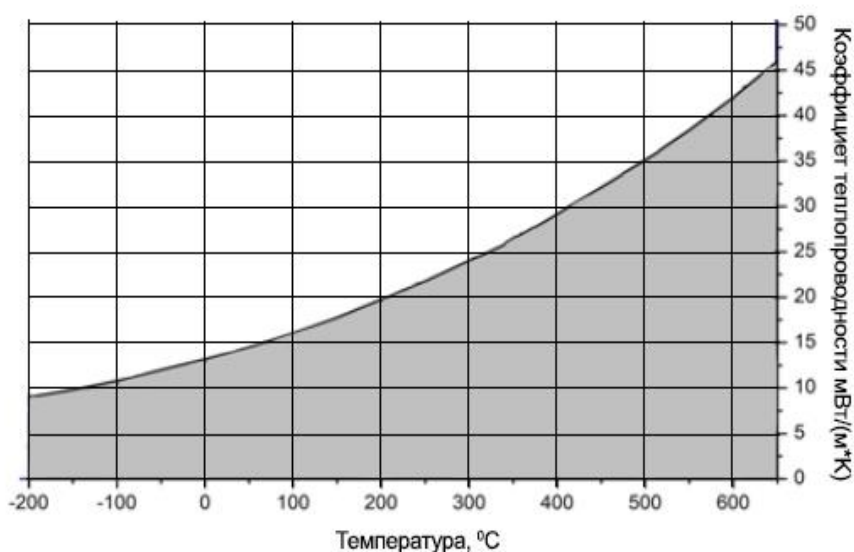
Термочехлы могут быть использованы как в нейтральных, так и в агрессивных химических средах при температурных условиях от  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше. В зависимости от технических требований и условий применения для изготовления термочехлов используются разнообразные виды материалов, от обычных традиционных до специальных.

Выбор теплоизоляционного слоя зависит как от теплотехнических, так и от эксплуатационных требований технологического процесса. Наиболее широко применяются такие материалы, как вспененный синтетический каучук, аэрогель, минеральная вата либо другая высокотемпературная волокнистая теплоизоляция. Особое требование ко всем применяемым для термочехла материалам является их гибкость – важно чтобы термочехол плотно повторял форму изолируемого объекта, обеспечивая минимальную потерю энергии на объекте.

В настоящее время освоена новая технология производства термочехлов на основе теплоизоляционного материала из аэрогеля. Аэрогель – это микрочастицы диоксида кремния, имеющего самую низкую теплопроводность из всех существующих на данный момент веществ.

Аэрогель обладает самым низким, минимальным коэффициентом теплопроводности, толщины термочехлов уменьшаются в несколько раз по сравнению с термочехлами с традиционной изоляцией.

Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры представлена на графике рис. 1.



**Рис. 1 - Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры**

Теплоизоляция на основе аэрогеля является негорючей, а также водонепроницаемой, что позволяет не использовать внешние защитные кожухи из листовой стали без потери рабочих характеристик во время всего срока эксплуатации.

В системе трубопроводов использование термочехлов становится осознанной необходимостью. Оголенные участки горячего водопровода нагреваются до высоких температур, поэтому узлы необходимо изолировать. Один регулировочный клапан с оголенным участком может иметь температуру 100-110 градусов Цельсия. После установки термочехла она снижается до 40-45 градусов, а это значительная экономия денежных средств.

Экономия применения термочехлов осуществляется за счет экономии затрат времени на регулярное снятие и установку теплоизоляции. Термочехлы устанавливаются на клапаны и фланцы, которые требуют частого доступа в рамках технического обслуживания и ремонта, оператор экономит затраты на рабочую силу каждый раз, когда они снимаются и переустанавливаются, при теплоизоляции трубопроводов возможно ещё большее повышение общей энергоэффективности. На самом деле, чем чаще они будут сняты и вновь установлены, тем больше денег будет сэкономлено. Это реальная практика функционирования производственных и обеспечивающих процессов на промышленных предприятиях. Когда у персонала технического обслуживания и ремонта появляется необходимость в доступе к фланцевому клапану или задвижке, они рвут существующий традиционный теплоизоляционный слой, производят требуемые действия с оборудованием, а затем может не успеть заново заизолировать оголенные участки трубопроводной системы.

Съемная теплоизоляция пригодна для неоднократного применения, а срок ее службы составляет около 30 лет.

#### **Список использованных источников**

1. n-a.by>catalog...termochekhly/termochekhly\_tilit\_n/.
2. newhatka.by>termochekhly.



**С.М. Барайшук<sup>1</sup>, М. Вертель<sup>2</sup>, М. Будзинский<sup>2</sup>,  
О.Г. Бобрович<sup>3</sup>, О.М. Михалкович<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Белорусский государственный аграрный технический университет  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Институт физики Университета им. М. Кюри Складовской Люблин, Польша,

<sup>3</sup> Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

<sup>4</sup> Белорусский государственный педагогический университет, Минск, Беларусь

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ, ОСАЖДЕННЫХ НА КРЕМНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ Mo, Cr.**

*Аннотация.* В данной работе с использованием методов РОР, растровой электронной и сканирующей зондовой микроскопии установлены состав и структура металлических (Mo, Cr) покрытий, осажденных на (111) Si в условиях ассистирования собственными ионами.

**S. Baraishuk<sup>1</sup>, M. Wiertel<sup>2</sup>, M. Budzynski<sup>2</sup>, O. Bobrovich<sup>3</sup>,  
O. Mikhalkovich<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk Belarus

<sup>2</sup> Institute of Physics, University n.a. M. Curie-Sklodowska, Lublin, Poland

<sup>3</sup> Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

<sup>4</sup> Belarusian State Pedagogical University, Minsk, Belarus

## **FEATURES OF THE FORMATION OF THIN FILMS OF FUNCTIONAL COATINGS DEPOSITED ON SILICON BY ION- BEAM SPUTTERING OF Mo, Cr.**

*Abstract.* In this work, using RBS, scanning electron microscopy, and scanning probe microscopy, the composition and structure of metal coatings (Mo, Cr) deposited on (111) Si under conditions of irradiation with intrinsic ions are established.

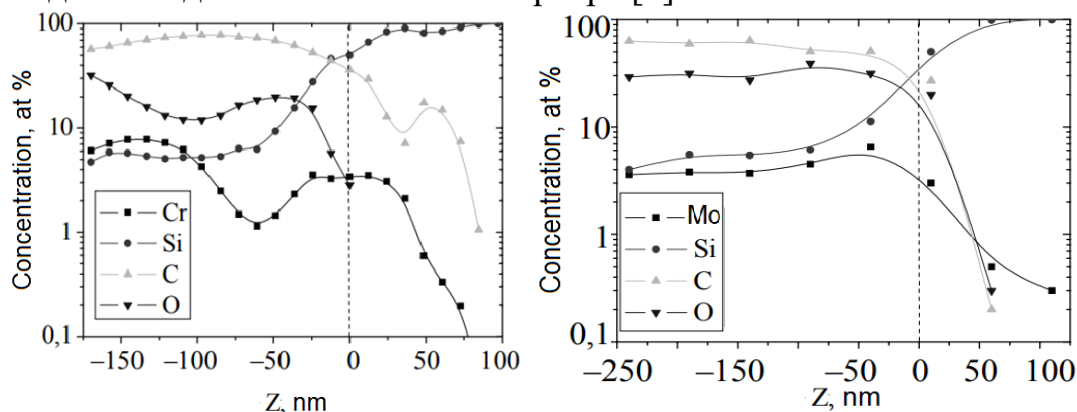
Получению тонких пленок металлов и оксидов металлов и изучению их свойств традиционно уделяется значительное внимание. В последнее время интерес к исследованию данных пленок возрастает в связи с необходимостью получения оптически прозрачных проводящих и при этом упрочненных слоев для высокоэффективных солнечных элементов [1, 2] и фотоприемников, полупроводниковых лазеров и сенсорных элементов. Формирование границы между покрытием и кремнием является важным этапом в изготовлении полупроводниковых устройств. Большинство опубликованных работ посвящены анализу атомного перемешивания на межфазной границе металл/кремний, вызванному воздействием ионов инертных газов Ar,

Kr и Xe при осаждении покрытия (метод IBAD) [3]. Облучение растущей пленки ионами основы наносимого покрытия применяется для: улучшенная адгезия к подложке, управление морфологией поверхности, модификация зернистости и смачиваемости осаждаемого слоя, модификация электрических и оптических свойств. Этот процесс и ряд других, например, силицидообразование являются предметом многочисленных исследований из-за широкого применения в новых электронных приборах [4]. Разрабатываемые процессы и полученные тонкие пленки могут найти применение при создании перспективных материалов для сенсорных микро-наносистем контроля оптического излучения.

Металлическое (Mo, Cr) покрытие осаждалось на пластины монокристаллического кремния (111) Si в условиях ассистирования ионами осаждаемого металла ( $\text{Mo}^+$ ,  $\text{Cr}^+$ ) при ускоряющих напряжениях 5 кВ – 15 кВ. Для этого использовали резонансный ионный источник вакуумной электродуговой плазмы, который одновременно генерирует как нейтральный поток атомов, так и поток ионов осаждаемого металла. Отношение плотности ионного потока к плотности нейтрального потока составляло от 0,02 до 0,09, что соответствовало условиям роста покрытия на подложке [4, 5]. Давление в вакуумной камере в процессе осаждения покрытий составляло  $\sim 10^{-2}$  Па, а скорость осаждения покрытий в разных опытах была  $\sim 0,16 \div 0,45$  нм/мин. Ионный источник использовали также для создания конструкций металл/Si подложка пассивным осаждением нейтрального потока атомов металла, генерируемого ионным источником без включения ускоряющего напряжения на держатель мишени. Эти системы использовали для последующего нанесения одноименных покрытий в условиях ионного ассистирования.

Послойный элементный анализ исходных образцов (111)Si, модифицированных ионно-ассистированным осаждением металлического покрытия изучались с применением метода резерфордского обратного рассеяния (ROR) ионов гелия с  $E_0=1,5$  МэВ при углах рассеяния, влета и вылета  $110^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $70^\circ$ , соответственно и компьютерного моделирования экспериментальных спектров ROR программой RUMP. Энергетическое разрешение анализирующей системы составляло 15 кэВ, что обеспечивало глубинное разрешение анализа  $\sim 13$  нм. Топография поверхности покрытий изучалась методами растровой электронной электронно-зондовой микроскопии (EDX Oxford Instruments AZtecEnergy-Advanced) и атомно-силовой микроскопии (NT 206 (Microtestmachines Co.) в контактном режиме.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1 показаны профили глубинного распределения элементов в образцах Cr/Si и Mo/Si, полученных при ускоряющем напряжении 15 кВ. Анализ концентрационных зависимостей распределения элементов в формируемых металлических покрытиях обнаруживает существенное различие в зависимости от металла осаждаемого покрытия, а также технологических условий осаждения. На представленных концентрационных профилях глубинного распределения компонентов указано положение межфазной границы в системах покрытие/подложка, которая устанавливается, согласно известной методике введения ксенонового маркера [3].



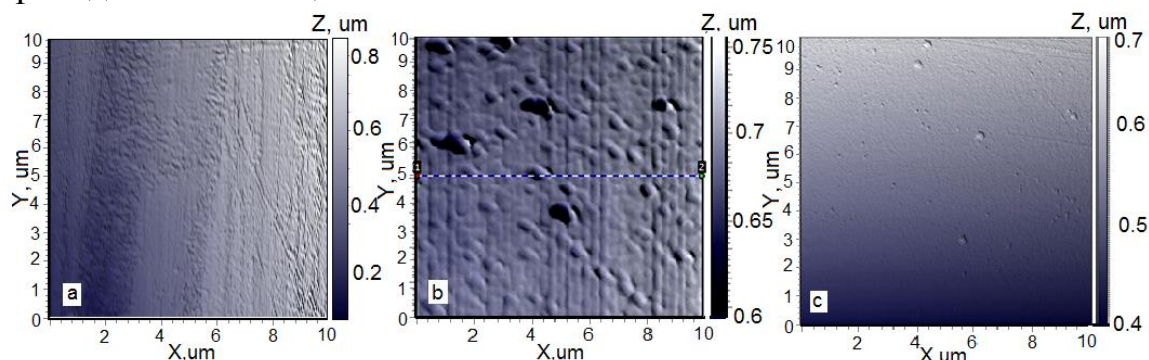
**Рис. 1 - Распределение элементов по глубине в образцах после нанесения покрытий на основе хрома и молибдена в условиях ионного ассистирования собственными ионами.**

Распределение хрома и молибдена в покрытии составляет 3-5 ат. % по всей толщине покрытия с увеличением до 5-7 ат. % к границе покрытие – подложка для Mo и уменьшением с 7 до 3 ат. % для хромсодержащих покрытий. Кислород и углерод распределены в покрытиях неравномерно. Так концентрация кислорода возрастает до 30 ат. % в покрытии и снижается до 2-5 ат. % к границе раздела покрытие/подложка, а в кремнии становится ниже, чем концентрация металлов, рис. 1. Распределение углерода качественно подобно пространственному распределению кислорода, однако концентрация примерно 2 раза выше в покрытии и снижается до 40 ат. % к границе раздела покрытие/подложка. В кремнии содержание углерода на несколько порядков превышает концентрацию металлов. Кроме этого, по всей толщине осажденного покрытия содержится кремний с концентрацией 10-40 ат.%. Появление в покрытии кремния связано со встречной диффузией из подложки.

Толщина покрытия с увеличением времени модифицирования, как и стоило ожидать, растет. При времени облучения 1 ч толщина покрытия составляет ~20 нм, 3 ч – 50 нм и 6 ч – 240 нм. Средняя

скорость роста осаждаемого металлсодержащего покрытия на кремнии равна 0,5 нм/мин. Уменьшение ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов  $Mo^+$  от 10 до 5 кВ приводит к увеличению толщины покрытий от ~165 до ~240 нм при одинаковом времени модифицирования образцов кремния. Это связано с различной интенсивностью процессов распыления осаждаемого покрытия при различных энергиях ассистирующих ионов и активацией миграционных процессов в результате управляемого энерговыделения в каскаде атомных столкновений при нанесении покрытия в условиях ассистирования ионами  $Mo^+$ .

С использованием атомно-силовой микроскопии установлено, что шероховатость исходного кремния незначительна и составляет 0,2 нм, увеличиваясь при нанесении покрытий до 1,5 нм (рис. 2). Так же можно говорить о значительном изменении морфологии поверхности при нанесении покрытий, которая нашла свое подтверждение и при анализе данных СЭМ (рис. 3). Изменения шероховатости и связанное с нанесением покрытия изменения гидрофобных свойств поверхности приведены в таблице 1.



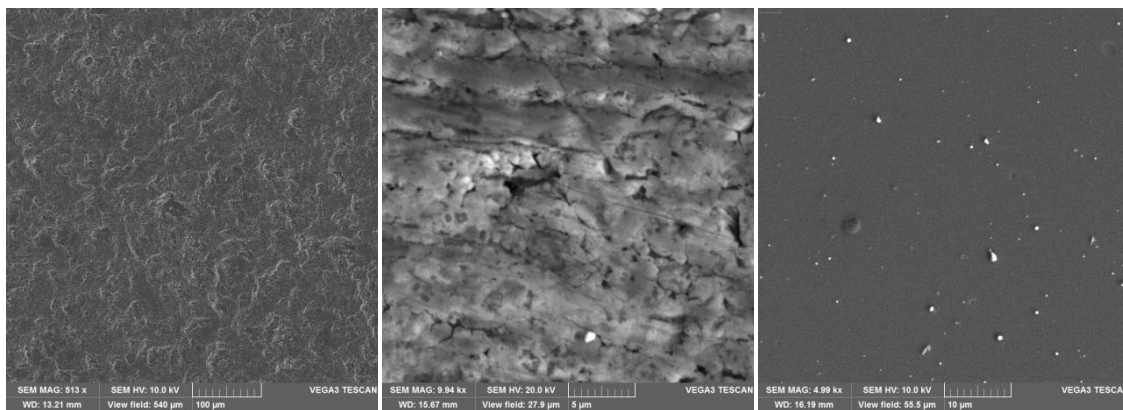
**Рис. 2 - Морфология поверхности покрытий на основе хрома и молибдена полученная АСМ, а также поверхность чистого кремния.**

**Таблица 1 – РКУС водой поверхности исходного и модифицированного нанесением различных металлопокрытий кремния**

Параметр	Кремний исходный	Покрытия металлов на кремнии	
		Cr	Mo
РКУС, °	68.1	70.7	77.0
Ra, nm	0.2	0.7	1.5

Проведение исследований с на сканирующем электронном микроскопе сочеталось с анализом обратного энергодисперсионного рассеяния электронов, результаты которого так же показали, что состав

приповерхностного слоя толщиной 100нм входят помимо атомов металлов наносимого покрытия с концентрацией 2-5 % , а так же кислорода углерода и кремния, в концентрациях сопоставимых с полученными моделированием спектров РОР.



**Рис. 3 - Микрофотографии поверхности и покрытий на основе хрома и молибдена, а также поверхности чистого кремния полученная СЭМ.**

**Заключение.** Установлено, что в состав получаемых на кремниевых пластинах покрытий входят атомы наносимого металла, технологических примесей углерода и кислорода из вакуумной камеры, а также Si в результате встречной диффузии из подложки в покрытие. При уменьшении ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов от 15 кВ до 5 кВ толщина покрытия увеличивается от ~ 30-45 нм до ~ 90-120 нм, что объясняется разной интенсивностью процессов распыления покрытия, осаждаемого при различных энергиях ассистирующих ионов, и активацией миграционных процессов во время осаждения покрытия. Шероховатость поверхности при ионно-ассистированном формировании систем Cr/Si и Mo/Si остается низкой, что позволяет в дальнейшем использовать такие системы в качестве подложек для фотоприемников и сенсорных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь № ГР 20211250

#### **Список использованных источников**

1. Baraishuk S. M. et al. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Tech. – 2018. – Т. 12. – №. 6. – С. 1077-1081.
2. Carter G., et al. J. of Advanced Materials, 1999, v.5, № 1, p. 1-6.
3. Tashlykov I. S. et al. J. of Surface Investigation. X-ray. Synchrotron and Neutron Techniques 2009, № 5, с.92-95.

4. Bobrovich O. G., et al Inorganic Materials: Applied Research. – 2015. – Т. 6. – №. 3. – С. 229-233.
5. Baraishuk S. M. et al. Physics and Chemistry of Materials Treatment. – 2011. – №. 1. – С. 66 (In Russian).

УДК 334.75

**А.В. Баширов**

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева – КАИ  
Казань, Российская Федерация

## **РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ИСКУССТВЕННЫМ ЛЬДОМ И ЕСТЕСТВЕННЫМ ЛЬДОМ НА ЛЕДОВОЙ АРЕНЕ**

*Аннотация.* В преддверии зимнего сезона большинство людей стремятся на каток или на хоккейные матчи. Поэтому актуальность темы связана с исследованием покрытия арен и катков, которые используются людьми. В любительском понимании натуральный лед всегда требует множество усилий для его формирования, времени, ресурсов и т.д.

**A.V. Bashirov**

Kazan National Research Technical University  
A.N. Tupolev – KAI  
Kazan, Russian Federation

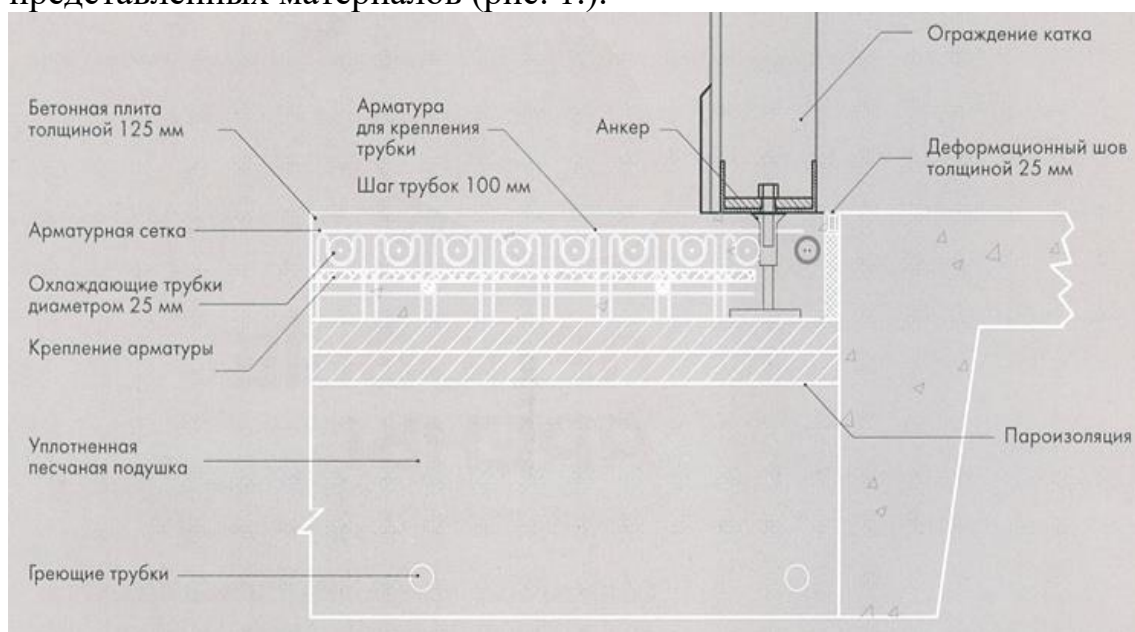
## **DIFFERENCES BETWEEN ARTIFICIAL ICE AND NATURAL ICE IN THE ICE ARENA.**

*Abstract.* On the eve of the winter season, most people tend to go to the ice rink or to hockey matches. Therefore, the relevance of the topic is related to the study of the coverage of arenas and skating rinks that are used by people. In the amateur understanding, natural ice always requires a lot of effort to form it, time, resources, etc.

Касательно искусственного льда его появление было обусловлено еще в 70 годах на формате лондонской арены, что стало открытием для владельцев арен и инженерных компаний, которые обеспечивают функционирование арены. В нынешнее время в руководстве ИИХФ по ледовым аренам закреплен основной формат постройки ледовых арен с искусственным льдом, которые являются приоритетом в разработке схем строительства. Следует вопрос как изменился механизм создания льда? Каким образом создается искусственный лед? Что дешевле создать и что дольше прослужит? В

данной статье разберем конкретные примеры для ответа на эти вопросы.

В процессе создания ледовых арен был и изменен сам механизм создания на нем льда. Как мы знаем, для создания натурального льда требуется лишь, основание арены, вода и постоянная холодная температура для поддержания уровня качества льда. Но во всем этом следует и отметить, что его качество всегда требует внимания, следовательно, требуется постоянно подвергать лед внешнему нагреву, для наиболее идеальной поверхности, а сколы выравнивать. А если при низком уровне льда нужна заново тратить ресурсы находить либо снег, либо воду. Что снова требует затрат. При этом внешняя температура всегда должна держаться отметки в - 2 -3 градуса. Тогда в избежание лишних затрат инженеры усовершенствовали само создание льда, схемой которого пользуются до сих пор. Разберем подробнее на основе представленных материалов (рис. 1).



**Рис. 1 - Схема покрытия ледовой арены в разрезе.**

На основе современного подхода к созданию льда, определяют схему покрытия, где образующими сам лед являются наборы трубок с постоянно циркулирующей охлаждающей жидкостью. В результате лед появляется за счет промежуточного антифриза, а не хладагента, содержащегося в холодильной установке. Катки старого образца замерзали благодаря воде и глицерину, которые превращались в однородную смесь. В данное время роль антифриза могут выполнять: пропиленгликоль, этиленгликоль, кальций и хлор (в растворе).

Наиболее практичны пластиковые или стальные трубки, которые прослужат дольше и будут находиться в прослойки льда и бетона.

Определяя данную схему создания льда, интересно узнать, на каком уровне качества выстраивается лед, ведь это важная составляющая для реализации мероприятий на арене. В раннюю пору было невозможно уследить за качеством льда так как большинство арен (катков) были на улице. Сейчас качество льда очень легко определяется и даже для отдельно взятого мероприятия. Например, фигурное катание проводится при температуре льда в пределах минусовой температуры 2-3 градусов Цельсия, что способствует лучшему зацепу коньков и от этого ледяной покров меньше разрушается. А такой зрелищный спорт как хоккей требует температуру в районе 4-5 градусов Цельсия со знаком минус. Чем холоднее, тем быстрее трескается. Для универсальной температурной атмосферы также выстроили категории:

1. температура окружающей среды – +17 градусов Цельсия;
2. влажность – 30 процентов;
3. температура ледяного покрова – -4 градуса Цельсия.

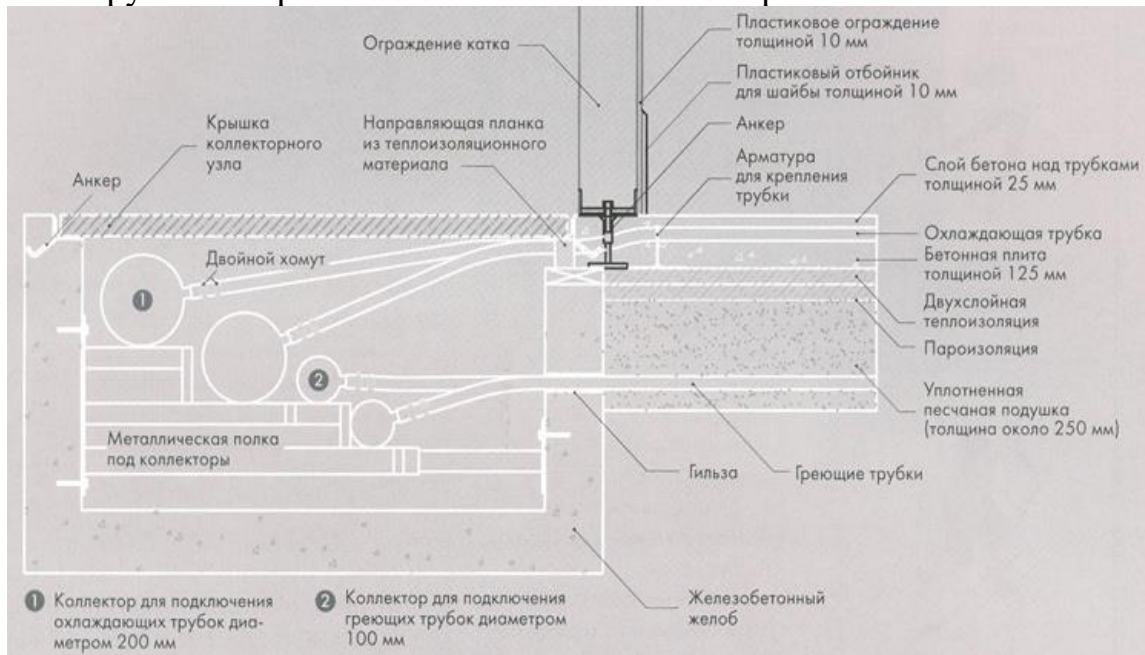
Если мы побываем на самой арене нам всегда кажется, что там стоит сильный холод. на самом деле на любой крытой ледовой арене функционируют кондиционеры, которые забирают теплый воздух от посетителей, испарений льда от света и т.д. Данный факт обусловлен регулировкой температуры, которая позволит сохранить лед на хорошем уровне качества. По мимо этого, следят и за уровнем жесткости воды, которая ходит в холодильной установке для поддержания баланса льда на арене.

Использование системы подогрева грунта в спортивных сооружениях является необходимым, так как из-за высокой холодопроизводительности снижается температура бетонного основания. В итоге это может стать причиной замерзания грунта, изменчивое состояние которого негативно влияет на фундамент. В случае всесезонного использования ледового катка, ниже его основания размещают трубки на расстоянии 0,3-0,6 метра. Благодаря отопительной системе температура грунта постоянно составляет около 3 градусов Цельсия.

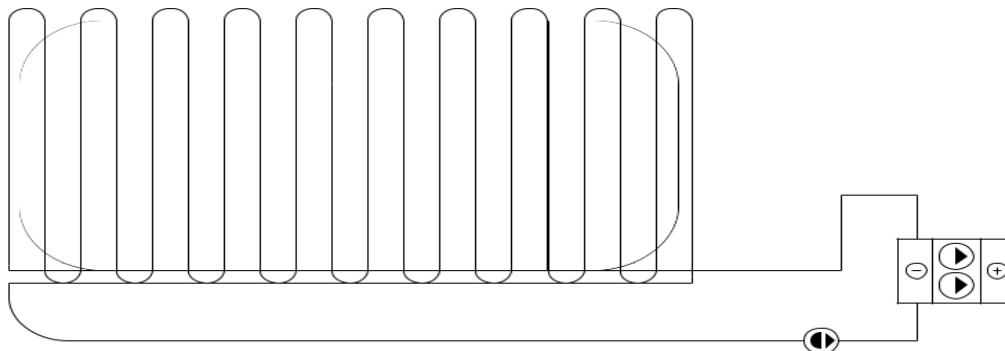
Поверх грунта устанавливается теплоизоляция. Ее компоненты стыкуются и между ними пропадают щели. На следующем этапе осуществляется монтаж трубных матов. Основой для укладки трубок является арматурная сетка. В некоторых случаях сетку заменяют песчаным слоем. После этого конструкцию бетонируют. Для производства трубок системы подогрева используют термостойкие



полимеры. Подобные трубки отличаются тонкими стенками и монтируются на расстоянии около 10 сантиметров.



**Рис. 2 - Схема подогрева покрытия грунта в разрезе.**



**Рис. 3 - Схема холодильной системы**

Чтобы привести хоккейную арену в полную готовность, необходимо 30-60 кубических метров воды. Замораживание происходит поэтапно, с целью образования многослойного льда. Образование первых слоев происходит в результате распыления воды, далее идет окрашивание поверхности и образование еще одного слоя льда для нанесения разметки. Подготовка льда является одной из самых трудоемких процедур на нее уходит более 58% энергетических затрат, по этой причине разработчики ледовых арен делают основной акцент на энергетическую эффективность. К примеру, во время последней Олимпиады в Сочи Большая ледовая арена была оборудована 3-мя высокоэффективными холодильными установками YORK, которые изготовила корпорация Johnson Controls. Мощность такого

оборудования составляет 529 киловатт. Также оно имеет электрический двигатель, отдача которого равна 400 киловаттам. Что касается холодильного коэффициента компрессора, он равен 1,32.

Для выработки холода в YORK используется замкнутый цикл. Хладоносителем здесь является этиленгликоль (концентрация - 42 процента). Раствор охлаждают до -14 градусов Цельсия, после чего распределяют между 2-мя хоккейными площадками. Далее, осуществляется возврат хладоносителя в хладоцентр. Чтобы грунт не промерзал, под бетонную плиту устанавливают трубки, толщина которых составляет 37 сантиметров. В трубках находится пропиленгликоль. Система кондиционирования воздуха сочинской арены состоит из 4-х холодильных машин YORK, мощность охлаждения которых составляет 2,3 тысячи киловатт, в то время как мощность электродвигателя равна 516 киловаттам. Холодильный коэффициент нагнетателя равен 4,45. Конденсация холодильного оборудования позволяет утилизировать тепло, благодаря которому удовлетворяются технологические потребности сооружения (таяние льда, вентиляция, горячее водоснабжение).



**Рис. 4 - Охладительная установка**

Помимо искусственного и натурального льда существует еще один формат льда, который используется чаще для не больших арен «синтетический лед» смесь химических элементов, которые преобразуются в плоскую пластиковую панель, при множестве таких панелей и строят целые детские арены или домашние. Они обладают

такими же показателями, как и простой лед, меньше изнашиваются и меньше требуют к себе внимания. Многофункциональны и просты в использовании, дешевые для производства. Они уже используются в спортивных соревнованиях по керлингу и имеют хороший спрос среди начинающих хоккеистов. Но, как и везде есть свои нюансы и вопрос. Многие высказываются по поводу вздутия панелей и появления щелей, которые затрудняют деятельность, проводимую на «льду». По мимо этого плотность материала куда выше обычного льда, так сила трения куда выше, чем на простом искусственном льде от чего качество катания ниже, чем на других форматах арен. Следует понимать, что есть, как и плюсы так и минусы такого покрытия, но на данный момент времени они используются в отдельно взятых форматах.



**Рис. 5 - Арена из синтетического льда.**

Касательно вопросов механизмов создания как искусственного, так и натурального льда, была дана точная формулировка и ответ на поставленные вопросы. По итогу изучения материалов можно сделать вывод о том, что наиболее универсальные форматы покрытия ледовых арен является создание искусственного льда. Которое определяется, как и законом так и многими компаниями по созданию и функционированию такого льда. При разборе данных было уделено внимание и альтернативным видам покрытиям, которые пока не так востребованы в спросе кроме отдельных категорий общества и видов

спорта. Отмечу, что еще есть множество открытых вопросов по особенностям каждого формата льда. Поэтому смело можно утверждать, что авторами тематика статьи актуальна и требует комплексного рассмотрения

#### Список использованных источников

1. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 14.11.2017 №1536. Правила проектирования. Спортивные сооружения. Использую основные правила проектирования ледовых арен и техническое обеспечение искусственного льда.  
<https://minsport.gov.ru/2018/PrikazMinstroya1536-ot14112017.pdf>
2. Гончарова Г.Ю. Создание новых ледовых покрытий спортивного назначения методом молекулярного воздействия исследования их свойства. Москва 2011 с.28. Использую информацию о том, каким способом создается искусственный лед.  
<https://www.dissercat.com/content/sozдание-novykh-ledovykh-pokrytii-sportivnogo-naznacheniya-metodom-molekulyarnogo-vozdeistvi>
3. Электронный ресурс. Статья. Дата публикации 03.07.2017 21:53  
<http://www.kremlinrus.ru/article/804/69154/> Особенности искусственного льда.
4. Руководство ИИХФ по ледовым аренам. Дата издательства 2002г. Издатель Международная федерация хоккея на льду (ИИХФ).  
[https://blob.iihf.com/iihf-media/iihfmvc/media/downloads/projects/ice%20rink%20guide/iihf\\_ice\\_rink\\_guide\\_rus\\_web.pdf](https://blob.iihf.com/iihf-media/iihfmvc/media/downloads/projects/ice%20rink%20guide/iihf_ice_rink_guide_rus_web.pdf) Технически-материальная база ледовых арен, их специфика, степени эксплуатации.

УДК 621.794.4:661.862.22

**Н.В. Богомазова, И.М. Жарский**

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Беларусь

### СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ГЕТЕРОСТРУКТУР ZnO/SnS

*Аннотация.* Задачей исследований являлось изучение особенностей химического наслаивания и электрохимического осаждения полупроводниковых пленок SnS и гетероструктур на его основе, а также исследование

электрофизических, оптических и фоточувствительных свойств пленочных структур. Комбинированным методом была получена гетероструктура ZnO/SnS с параметрами  $I_{кз} = 0,25 \text{ мА}$ ,  $U_{xx} = 0,2 \text{ В}$  и  $F=0,348$ .

**N.V. Bogomazova, I.M. Zharsky**  
Belarusian State Technological University,  
Minsk, Belarus

## **SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF PHOTOVOLTAIC HETEROSTRUCTURE ZnO/SnS**

***Abstract.** The objectives of the research were to study the features of chemical layering and electrochemical deposition of semiconductor films of tin sulfide and heterostructures based on it, as well as to study the electrophysical, optical and photosensitive properties of film structures. Using the combined method "electrochemical deposition – chemical layering" a heterostructure was obtained with output parameters  $I_{кз} = 0,25 \text{ мА}$ ,  $U_{xx} = 0,2 \text{ В}$  и  $F=0,348$ .*

Актуальность данной работы в области инновационного материаловедения и нанотехнологий обусловлена активным развитием технологий формирования современных пленочных структур, включая гетероструктуры, с использованием полупроводниковых оксидов и халькогенидов в качестве функциональных слоев для различных электронных устройств, в частности фотоэлементов. Комбинирование доступных нанотехнологических процессов формирования функциональных гетероструктур с традиционными промышленными пленочными технологиями представляет актуальную химико-технологическую задачу.

Современный этап развития полупроводникового материаловедения характеризуется активным поиском эффективных некремниевых материалов и многослойных гетероструктур. В этой связи перспективным материалов является моносульфид олова SnS, который относится к классу полупроводников  $A^{IV}B^{VI}$  с проводимостью p- и n-типа в зависимости от элементного состава и характеризуется орторомбической кристаллической структурой. Сульфид олова характеризуется слоистой кристаллической структурой, атомные слои которой связаны силами Ван-дер-Ваальса, что приводит к снижению содержания поверхностных уровней. Это благоприятно сказывается на решении проблемы создания гетероструктур с достаточно высоким качеством гетеропереходов на основе поликристаллических и нанокристаллических слоев [1].

Солнечные элементы на основе тонких пленок SnS имеют недостаточно высокие параметры и стабильность характеристик, а

также нуждаются в конструктивном решении проблем, возникающих при использовании той или иной технологии изготовления [2].

В гетероструктурах для солнечных элементов на основе поглощающего слоя SnS в качестве слоя, выполняющего функцию широкозонного окна, по-прежнему активно изучаются такие широкозонные полупроводники, как халькогениды CdS, ZnS,  $Cd_xZn_{1-x}S$ , а также оксиды ZnO, TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> и другие материалы. Среди актуальных лидеров фотовольтаических структур можно отметить авторов [3] и [4], которым удалось достигнуть эффективности преобразования солнечной энергии в структурах на основе SnS на уровне 4,36 % [3] и 4,8 % [4]. Так, в работе [3] повышение эффективности работы гетероструктуры SnS/SnO<sub>2</sub>/Zn(O,S):N/ZnO/ITO было достигнуто за счет снижения рекомбинационных потерь фотоносителей на функциональном гетеропереходе при формировании барьерного оксидного монослоя SnO<sub>2</sub> между поглощающим слоем SnS и контактным оксидно-сульфидным нанослоем Zn(O,S):N

В качестве объекта исследования в данной работе выступали электроосажденные пленки моносulfида олова SnS<sub>x</sub>, которые были сформированы на поверхности планарных подложек ITO/стекло и на фольгированном медью текстолите, а также пленки ZnO, которые химически наслаивались на подложки ITO/стекло или на поверхность пленок SnS в составе гетероструктур.

Электрохимическое осаждение пленок SnS<sub>x</sub> осуществлялось в импульсном потенциостатическом режиме с использованием комплексного электролита при концентрации компонентов SnCl<sub>2</sub> – 0,03 моль/л, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,1 моль/л, CH<sub>3</sub>COONa – 0,06 моль/л и pH = 1,5–2,2. Количество циклов поляризации составляло от 60 до 120 в зависимости от омического состояния подложки ITO/стекло.

При химическом наслаивании пленок ZnO в качестве катионного прекурсора использовался аммиачный раствор 0,01 M ZnSO<sub>4</sub> (pH 11) при комнатной температуре, а в качестве анионного прекурсора – 1%-ный раствор H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> при температуре 65–75°C. Температура окончательного отжига в воздушной атмосфере составляла 375–450°C в течение 30–60 мин. В экспериментах по формированию пленок ZnO количество циклов обработки варьировалось от 20 до 60.

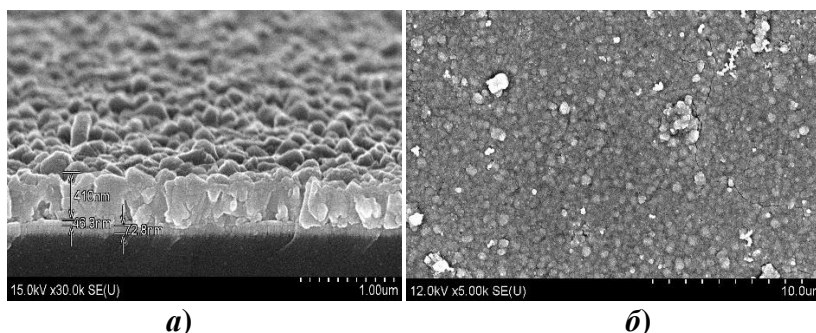
Гетероструктуры ZnO/SnS были получены комбинированным методом в цикле «электроосаждение SnS – химическое наслаивание ZnO». По данным электронной микроскопии можно заключить, среди полученных образцов наиболее четкой границей раздела слоев

характеризовалась гетероструктура 10ZnO/120SnS/ITO (цифры указывают количество циклов осаждения) (таблица 1, рис. 1).

**Таблица 1 – Структурно–химические характеристики гетероструктур**

Характеристика	10ZnO/120SnS/ITO	20ZnO/120SnS/ITO
$h_{ITO}, \text{нм}$	87	115
$h_{SnS}, \text{нм}$ (нач.)	465	196
$h_{SnS}, \text{нм}$ (в гетероструктуре)	341	граница слоев не выражена
$h_{ZnO}, \text{нм}$	202	
$h_{ZnO/SnS}, \text{нм}$	630	306

В этом случае общая высота полученной гетероструктуры составляла 630 нм. Толщина поглощающего электроосажденного слоя SnS от первоначального значения 465 нм (рисунок 1, *a*) уменьшилась до 341 нм, что может быть связано с химическим растворением пленки SnS при наслаивании ZnO. Полученные микроизображения поверхности гетероструктуры 10ZnO/120SnS/ITO (рисунок 3.14, *a*) указывают на то, что верхняя пленка ZnO является сплошной, без микротрещин, кристаллиты ZnO однородны по форме и размеру.



**Рис. 1 – Электронномикроскопические изображения скола образца 120SnS/ITO (*a*) и поверхности гетероструктуры 10ZnO/120SnS/ITO (*b*)**

Использование пленочных структур на основе моносульфида олова в электронных устройствах предполагает наличие достоверных данных об электрофизических свойствах базовых слоев SnS, которые включают омическое состояние пленок при обычных условиях, особенности температурной зависимости электросопротивления, значение энергии активации и проводимости.

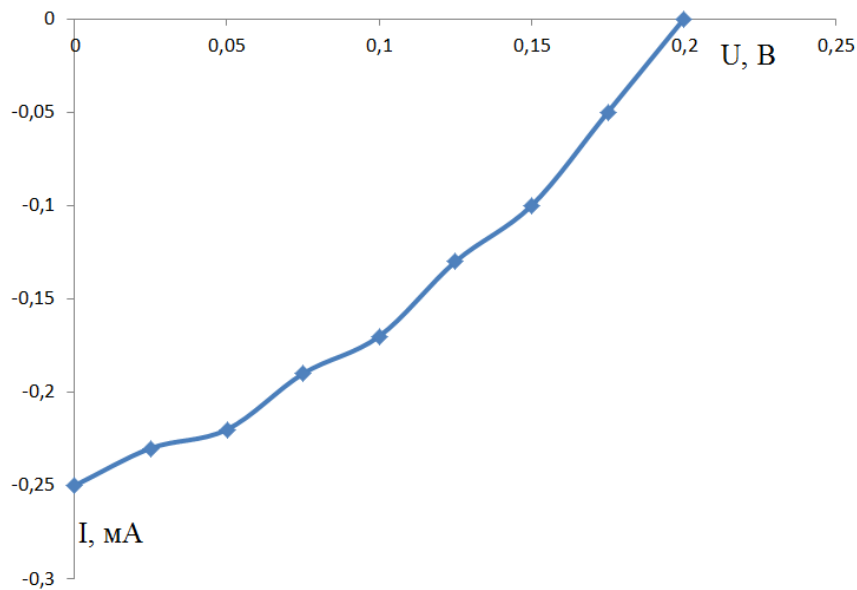
Измеренные нами значения электросопротивления функциональных пленок и гетероструктур по схеме, приведенной на рисунке 2, отличались от проводящего слоя ИТО на подложке в 2 – 20 раз. Анализ полученных значений поверхностного сопротивления показывает, что пленка  $\text{SnS}_x$  характеризовалась средним значением на уровне 600–800 кОм, а пленка ZnO (20 слоев) наиболее высокими значениями порядка 8,50–8,74 МОм. Контакт ZnO / $\text{SnS}_x$ , оказался более высокоомным, в сравнении с контактом  $\text{SnS}_x/\text{ZnO}/\text{ITO}$ .

Результаты измерений среднего поверхностного сопротивления для образцов гетероструктур показывают, что оксидный поверхностный слой ZnO характеризовался повышенным электросопротивлением в сравнении с поглощающим сульфидным слоем, что решающим образом влияет на электросопротивление гетероструктуры, от чего зависит величина токов, например, солнечных элементов. Более низкоомное состояние зафиксировано в случае 10 циклов наслаивания ZnO.

Все пленки проявляли полупроводниковый характер электропроводности в отличие от пленки ИТО. Величина температурного коэффициента электросопротивления и соответственно энергия активации проводимости увеличивалась с увеличением толщины пленки. Для непрозрачной пленки  $\text{SnS}_x$  энергия активации проводимости составила 0,222 эВ, что указывает на генерацию носителей заряда с участием глубоких электроактивных центров.

В рамках исследования была получена омическая линейная ВАХ для пленки  $\text{SnS}$ , а для гетероструктуры – нелинейная ВАХ асимметричного вида, которая характеризуется повышенными значениями токов в области прямых смещений и пониженными значениями токов в области обратных смещений, что свидетельствует о наличии контактных явлений приводящих к проявлению выпрямляющего эффекта. Также для гетероструктур ZnO/ $\text{SnS}/\text{ITO}$  были получены предварительные данные по световым ВАХ (рис. 2), с помощью которых зафиксированы следующие функциональные параметры: ток короткого замыкания  $I_{\text{кз}} = 0,25$  мА, напряжение холостого хода  $U_{\text{хх}} = 0,2$  В и фактор заполнения световой ВАХ  $F = 36,8\%$ .





**Рис. 2 – Световая ВАХ гетероструктуры ZnO/SnS**

Таким образом, полученные данные показывают, что разработанная методика формирования фоточувствительных планарных субмикронных гетероструктур ZnO/SnS с использованием комбинированного цикла «электроосаждение SnS – ионное наслаивание ZnO» обеспечивает формирование планарных субмикронных гетероструктур ZnO/SnS, которые проявляют перспективные фоточувствительные свойства, в частности, обеспечивают по сравнению с индивидуальными пленками SnS повышение генерируемой величины фотоэдс до 0,2 В или в 2,8 раза.

### **Список использованных источников**

1. Electronic structure and defect physics of tin sulfides: SnS, Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub> and SnS<sub>2</sub> / Y.Kumagai [et al.] // Physical review applied.– 2016.–Vol. 6, №16.– 15p.
2. Siebentritt, S. Progress in Photovoltaics: Research and Applications / S. Siebentritt, S. Schorr // Solar Mater. – 2012. – Vol.20, N.5. – P. 512–519.
3. Overcoming efficiency limitations of SnS-based solar cells / P. Sinsermsuksakul, L.Sun, S.W. Lee [et al.] // Adv. Energy Mater. – 2014. – Ar. 1400496. – 7 p.
4. Efficient nanostructured TiO<sub>2</sub>/SnS heterojunction solar ceels / H.S. Yun, B. Park, J. Im [et al.] // Adv. Energy Mater. – 2019. – Vol. 9, No.35. – P. 99–105.

УДК 678.5

**А.А. Бойко<sup>1</sup>, В.В. Невзоров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Беларусь

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ФОРМОВКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УПОРЯДОЧЕННОЙ ПОРИСТОСТЬЮ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ**

***Аннотация.** Описаны технологические особенности формирования тонких керамических слоёв и определены возможности и эффективность использования легкоплавкой свинцовоборосиликатной связки тонкого помола, прошедшей предварительную структурирующую термообработку в осушенном водороде.*

**A.A. Boika<sup>1</sup>, V.V. Nevzorov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi,

<sup>2</sup>Belarusian State University of Transport

## **OPTIMIZATION OF FORMING MODES OF COMPOSITE MATERIALS WITH ORDERED POROSITY OF THE INTERNAL STRUCTURE**

***Abstract.** The technological features of the formation of thin ceramic layers are described and the possibilities and efficiency of using a low-melting lead-borosilicate bundle of fine grinding, which has undergone preliminary structuring heat treatment in dried hydrogen, are determined.*

В настоящее время при создании новых технологий производства конструкционных материалов и покрытий широко используются полые микросферы. Одним из распространенных видов микросфер, используемых в промышленности, на сегодняшний день считаются алюмосиликатные полые частицы [1].

Цель настоящей работы – разработать технологические приемы формирования керамических материалов с различным соотношением вводимых компонент, получаемых с применением легкоплавких связок разработанного состава на основе полых микросфер  $Al_2O_3$

При этом необходимо определить:

– оптимальные временные режимы размолла шихты в планетарной мельнице, а также условия предварительного сплавления компонент шихты в стеклообразную массу, повергаемую указанному выше помолу;

– концентрации основных веществ-пластификаторов, вводимых в шихту разработанного состава;

– возможность и эффективность использования связки тонкого помола, прошедшей предварительную структурирующую термообработку в осушенном водороде в технологическом процессе изготовления тонких керамических слоёв по LTCC-технологии.

Оксиды свинца, бора и кремния являются основой большинства легкоплавкой керамики. Оксид свинца, содержащий высокополяризуемый катион, способствует снижению температуры плавления и существенному понижению вязкости расплава; оксиды бора и кремния в зависимости от их соотношения способны существенно изменить температуру размягчения расплава, повышая или понижая ее.

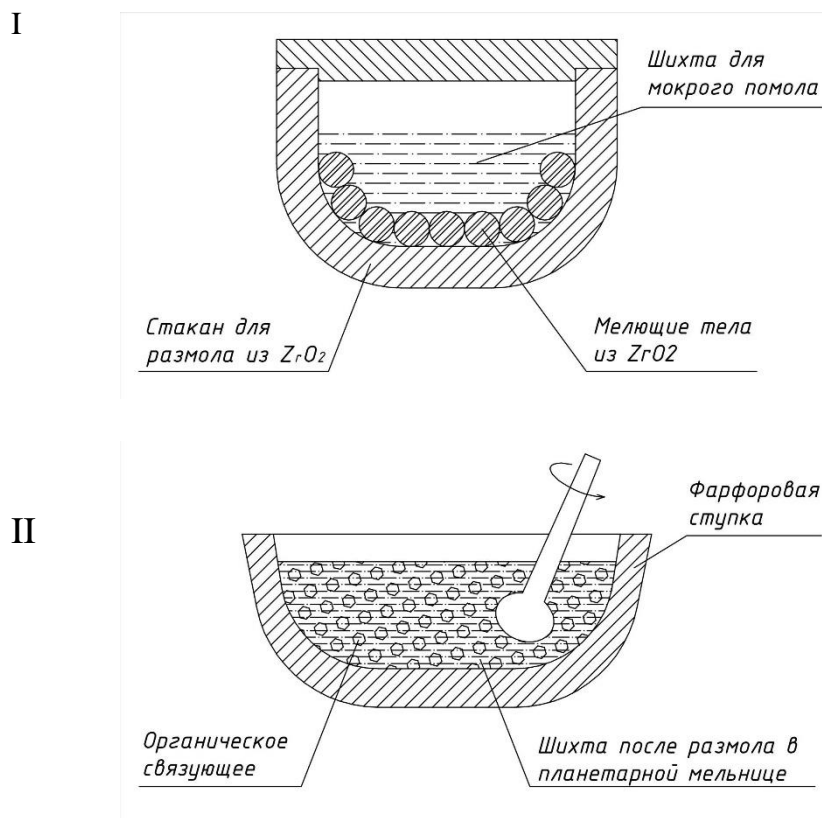
Широко внедряемая технология LTCC – низкотемпературной совместно обжигаемой керамики – используется в различных отраслях промышленности на протяжении многих лет. Усовершенствование LTCC материалов, технологических процессов и методов производства приводит к снижению стоимости и улучшению технических характеристик, в частности, электронных изделий.

Основными материалами для производства многослойных печатных плат традиционно являлись органические материалы с низкими значениями диэлектрической проницаемости (FR-4,  $\epsilon_r = 3,5-4,5$ ) и керамика с высокими значениями диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_r = 10-12$ ). Увеличение рабочих частот электронных приборов требовало создания нового материала, который бы, с одной стороны, позволял легко создавать многослойные печатные платы, и, с другой стороны, на высоких частотах имел бы характеристики, схожие с керамикой. Новый материал получил название низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC)).

Процесс производства изделий из LTCC керамики начинается с создания керамической суспензии путём смешивания керамического порошка, органических связующих, растворителей и модифицирующих добавок [2, 3]. Из суспензии впоследствии формируется керамическая лента.

В результате проведенных исследований с целью модификации свойств конечных керамических материалов, получаемых по LTCC-процессу, предложен механизм прямого восстановления сухого остатка помола шихты (общее временем помола составило не менее 24 ч, основной размер частиц – менее 40 мкм) в среде водорода при  $t=400-500$  °С. В общем случае максимальное количество вводимой в

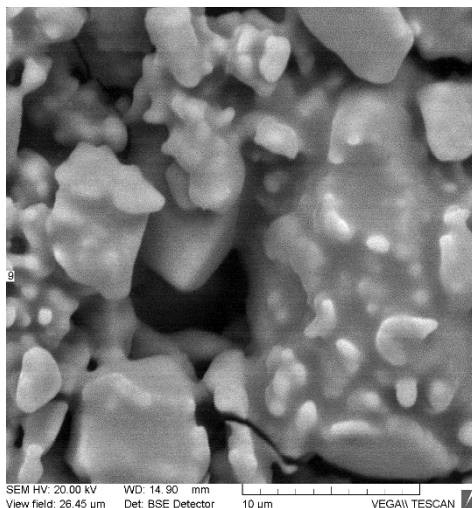
керамическую массу термопластичной связки не превышало 30 масс. %, а сушка получаемых образцов композиционных материалов (с целью придания им необходимой прочности) проводилась при температуре порядка 100-120 °С. Основные этапы подготовки шихты, оказывающие ключевое влияние на подготовку связки, применяемой в LTCC-процессе приведены на рис. 1. Схематическое отображение этапов обработки связки шихты до и после введения в её структуру веществ-пластификаторов позволяет смоделировать структуру шихты после размолв в планетарной мельнице. В качестве основного органического связующего использовался поливинилбутираль. Проводимая подготовка позволяет использовать разработанные технологические приёмы для литья шликера на подложку (в т.ч. движущуюся) с целью получения тонкой керамической плёнки.



**Рис. 1 – Основные этапы подготовки шихты, оказывающие ключевое влияние на подготовку связки, применяемой в LTCC-процессе**

Также установлено, что легкоплавкая связка, прошедшая структурирующую обработку в водороде, позволяет пластифицировать

конечную шихту за счет восстановления свинца до элементного состояния. На рис. 2 отображено РЭМ-изображение кварцевого порошка тонкого помола, прореагировавшего с легкоплавкой связкой. Видна хорошая проникающая и смачивающая способность последней.



**Рис. 2 – Пример обволакивания микрочастиц плавленного кварца связкой разработанного состава**

Таким образом, использование синтезированных свинцовоборосиликатных связок предложено использовать только в качестве моделирования техпроцесса получения керамики по ЛТСС-технологии. Для создания тонкоплёночных керамических материалов, оптимально сохраняющих свои функциональные характеристики при их формовке в изделия сложной геометрической формы (включая гибридизацию, профильные изгибы и изготовление отверстий позиционирования), будут проведены исследования в области синтеза многокомпонентных легкоплавких связок усложнённого состава.

### **Список использованных источников**

1 Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема. М.: ИКЦ "Академкнига", 2004. – 208 с.

2 Керамическое покрытие. Свойства, преимущества и возможные альтернативы Режим доступа : <https://atf.ru/articles/obzory/keramicheskoe-pokrytie-osobennosti-i-vozmozhnye-alternativy/>

3 Особенности получения и свойства кварцевых золь-гель стекол, содержащих наночастицы восстановленных металлов / А. А. Алексеенко [и др.] // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого. – 2016. – №1. – С. 52–60. – Режим доступа : <https://elib.gstu.by/handle/220612/14205>

**В.П. Боуфал, А.В. Пянко, А.А. Черник**  
Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Беларусь

## **ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ Sn-Ni-TiO<sub>2</sub>**

*Аннотация.* Для получения композиционного электрохимического покрытия Sn-Ni-TiO<sub>2</sub> подобран состав электролита, исследовано влияние концентрации диоксида титана на физико-химические свойства осаждаемых покрытий. Установлены кинетические параметры процесса осаждения покрытий.

**V.P. Boufal, A.V. Pyanko, A.A. Chernik**  
Belarusian State Technological University,  
Minsk, Belarus

## **FORMATION AND PROPERTIES OF COMPOSITE ELECTROCHEMICAL COATINGS Sn-Ni-TiO<sub>2</sub>**

*Abstract.* The composition of the electrolyte for the deposition electrochemical coating Sn-Ni-TiO<sub>2</sub> was selected, the influence of the concentration of titanium dioxide on the physicochemical properties of the deposited coatings was investigated. The kinetic parameters of the coating deposition process have been determined.

Композиционные электрохимические покрытия обладают более высокими антикоррозионными и декоративными свойствами, повышенными твердостью и сопротивляемостью механическому и температурному износу по сравнению с индивидуальными металлическими покрытиями [1]. Композиционные электрохимические покрытия (КЭП) получают путем соосаждения из электролитов-суспензий, содержащих нерастворимые частицы инертной фазы.

Сплав никеля с оловом вследствие их привлекательного внешнего вида и достаточно высокой коррозионной устойчивости широко используются в качестве защитных и декоративных покрытий.

КЭП на основе олово-никель обладают высокой твердостью и пластичностью, коррозионной стойкостью в растворе хлорида натрия.

Наиболее широкое применение для получения сплава Sn-Ni получил фторидхлоридный электролит. В качестве инертной фазы перспективным материалом является оксид титана (IV).

Для получения композиционного электрохимического покрытия Sn-Ni-TiO<sub>2</sub> подобран состав электролита, исследовано влияние концентрации и размера частиц диоксида титана на физико-химические свойства осаждаемых покрытий. Установлены кинетические параметры процесса осаждения КЭП.

Установлено, что электрохимический сплав олово-никель осаждается из фторидхлоридного электролита с эффектом деполяризации. Введение в состав покрытия диоксида титана в качестве инертной фазы приводит к смещению электродного потенциала в более электроотрицательную сторону на 0.1 В–0.15 В при содержании TiO<sub>2</sub> 2–6 г/дм<sup>3</sup>. При этом наблюдается изменение физико-химических свойств получаемых покрытий [2, 3].

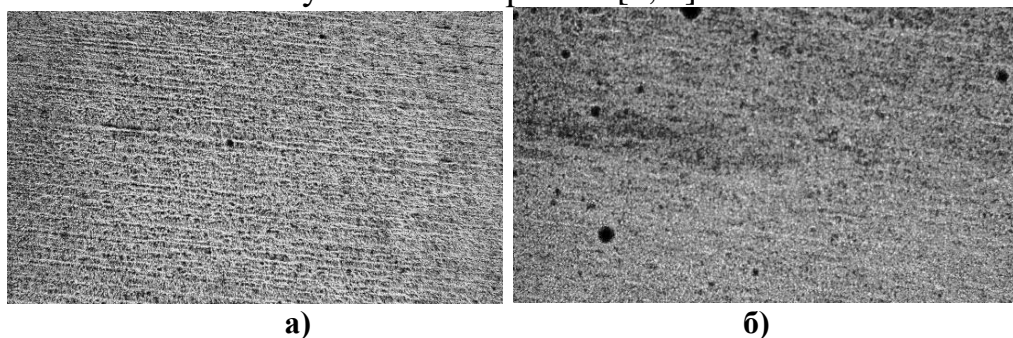


Рис. 1. – Микрофотографии КЭП олово-никель (а) и олово-никель-диоксид титана (б)

Композиционные электрохимические покрытия обладают беспористой, равномерной структурой, с высокой степенью блеска (рис. 1).

Введение в электролит диоксида титана с концентрацией 6 г/дм<sup>3</sup> способствует увеличению микротвердости покрытий на 40 единиц по Виккерсу, коррозионной стойкости и адгезии покрытия к металлической основе. Кроме того, такие покрытия обладают антибактериальными свойствами.

#### Список использованных источников

1. Гамбург Ю. Д. Электролитическая кристаллизация металлов и сплавов / Ю. Д. Гамбург // М.: Янус-К, 1997. – 389 с.
2. Physicochemical and Biocidal Properties of Nickel–Tin and Nickel–Tin–Titania Coatings/ A.V. Pyanko, I.V. Makarova, D.S. Kharitonov, I.S. Makeeva [et al.] // Material Protection of Metals – 2021. – Vol. 57. – P. 88–95.
3. Electrochemical coating based on tin-nickel alloy with antibacterial properties / A.V. Pyanko, A.A. Chernik, O.A. Alisienok, D.S. Sergievich / 3rd ISE Satellite Student Regional Symposium on

Electrochemistry: multi-authored monograph. – Kyiv, Ukraine, 18th April, 2018. P. 102 – 105.

УДК 632.953.1

**Т.А. Гапонова, А.М. Брайкова, К.А. Гудыно**  
Белорусский государственный экономический университет  
Минск, Республика Беларусь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АНТИСЕПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

***Аннотация.** Исследован перечень образцов антисептических средств, представленных в торговой сети г. Минска. Определены показатели их качества и безопасности: водородный показатель методом рН-метрии, процентное содержание спирта рефрактометрическим методом.*

**T.A. Gaponova, A.M. Braikova, K.A. Gudyno**  
Belarusian State Economic University  
Minsk, Republic of Belarus

## **RESEARCH OF QUALITY INDICATORS ANTISEPTICS**

***Abstract.** The list of samples of antiseptic agents presented in the trade network of Minsk was investigated. The indicators of their quality and safety have been determined: the pH value by the pH-metry method, the percentage of alcohol by the refractometric method.*

В условиях пандемии коронавируса особенно остро стал вопрос о гигиене рук. В ситуациях, когда необходимо очистить кожу рук, но нет возможности сделать это с помощью мыла и воды, хорошей альтернативой являются дезинфицирующие средства – антисептики. Поскольку антисептики непосредственно контактируют с кожным покровом человека, необходимо проводить контроль их показателей качества и безопасности. Важным показателем качества антисептических средств является не только их эффективность в устранении вирусов и бактерий, но и безопасность для человека.

Антисептики делятся на спиртосодержащие и не содержащие спирт средства. В спиртосодержащих антисептических средствах в качестве главного компонента могут использоваться этанол, изопропанол, н-пропанол. Основным действующим веществом не спиртовых средств выступает, например, повидон-йод, обладающий



хорошим антисептическим действием. В состав антисептика могут входить загустители, увлажнители, отдушки, красители и другие вспомогательные компоненты, которые оказывают влияние на показатели качества и безопасности средств.

Наиболее часто используются антисептики на спиртовой основе, поскольку они считаются более эффективными в борьбе с микроорганизмами и вирусами. Важным показателем качества спиртосодержащих антисептиков является процентное содержание (массовая доля) спирта, как основного действующего компонента, поскольку от этого показателя напрямую зависит эффективность применяемого средства.

Показатель pH кожного покрова человека на разных частях тела отличается. Кроме того, у каждого человека есть собственный показатель pH, который может варьироваться от 3 до 7. Если pH кожи человека не совпадает с pH антисептика, то это может привести к сухости и раздражению кожи. На величину показателя pH антисептического средства влияет его качественный состав [2].

Цель работы – провести контроль показателя pH и определить содержание спирта в шести образцах антисептических средств, характеристика которых представлена в таблице 1.

Для определения содержания спирта использовали рефрактометрический метод, основанный на определении показателя преломления луча света, проходящего через границу раздела сред, одна из которых является более плотной. Для измерения показателя преломления применили рефрактометр Аббе (ИРФ-454Б2М) [1], принцип работы которого основан на явлении полного внутреннего отражения луча света на границе раздела двух сред.

Для определения показателя pH использовали потенциометрический метод, основанный на измерении ЭДС электронной системы, пропорциональной активности ионов водорода в растворе с помощью pH-метра 150М. [2].

Полученные результаты определения показателей преломления исследованных образцов антисептиков, содержания в них спирта в %, а также величины показателей pH приведены в таблице 2.

На рис. 1 для наглядности представлены результаты определения содержания спирта в виде диаграммы [3]. Видно, что среди образцов, имеющих жидкую консистенцию, образец № 4 содержит наибольшее количество спирта (89,69 %), а наименьшее – образец № 1 (60,11%). Среди образцов, имеющих гелеобразную консистенцию, наибольшее содержание спирта обнаружено в образце № 6 (90,05%), а наименьшее – в образце № 5 (88,97%).

Среди образцов, изготовленных на основе изопропилового спирта, наибольшее его количество было выявлено в образце № 3 – 89,49%, а наименьшее в образце № 1 – 60,11%. Этиловый спирт в своем составе имеют только образцы № 2 и № 6. Больше количество этанола получили в образце № 6 – 90,05%. Значительное превышение найденного экспериментально количества спирта у образцов № 5 и № 6, от количества, указанного на упаковке, может быть связано с тем, что на показатель преломления данных образцов оказывает влияние не только содержание спирта, но и количество глицерина, входящего в состав данных антисептиков.

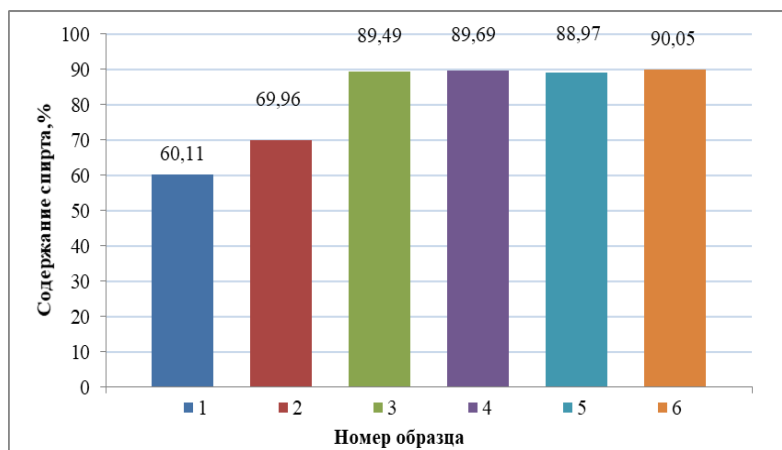
**Таблица 1 –Характеристика исследуемых образцов**

№	Наименование антисептика	Страна	Наименование изготовителя	Консистенция	Состав
1	Уноdez	Республика Беларусь	ЗАО «БелАсептика»	Жидкая	спирт изопропиловый, 1,3-бутандиол, ланолин этоксилированный, отдушка, краситель, вода очищенная
2	Септоцид Синерджи	Республика Беларусь	ЗАО «БелАсептика»	Жидкая	спирт этиловый, полигексаметиленби гуанид гидрохлорид, вспомогательные вещества.
3	Септоцид Р	Республика Беларусь	ЗАО «БелАсептика»	Жидкая	спирт изоропиловый, вода очищенная, 1,3 бутандиол, ланолин этоксилированный, отдушка
4	Септаль	Республика Беларусь	ООО «Инвадез»	Жидкая	Спирт изопропиловый 60%, полигексаметиленгу анидин гидрохлорид 0,5%, функциональные добавки.
5	Стоп вирус	Российская Федерация	ООО	Гелевая	изопропиловый спирт 60%-70%, вода, глицерин, алкилдиметилбензил

			«НПК СПЕКТР»		аммоний хлорид, экстракт листьев алоэ
6	Идеальные ручки	Республика Беларусь	ЗАО «ВИТЭКС»	Гелевая	этанол, вода, глицерин, кроссполимер акрилатов и С10-30 алкилакрилата, триэтаноламин, сок листьев Aloe barbadensis (алоэ)

**Таблица 2 – Результаты определения показателей качества и безопасности антисептических средств**

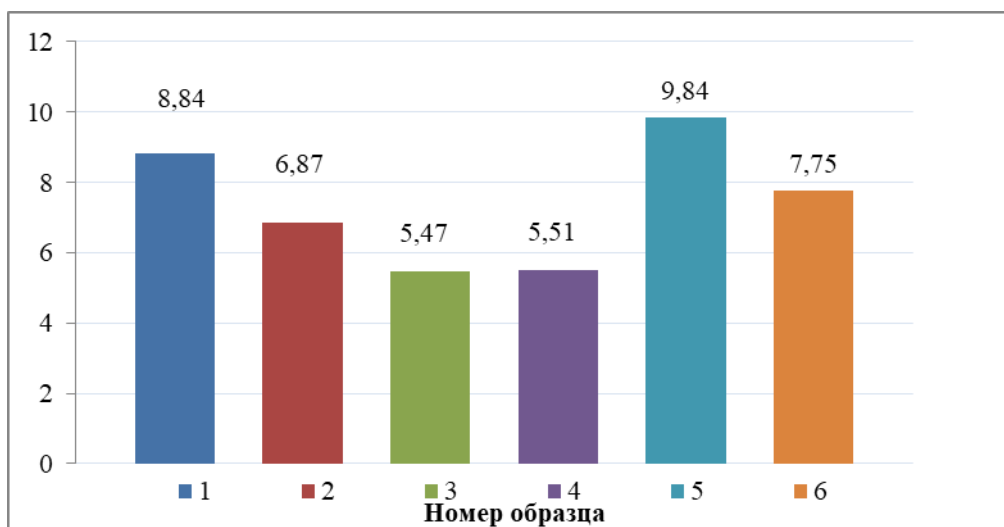
№ образца	1	2	3	4	5	6
Показатель преломления	1,3710	1,3640	1,3700	1,3730	1,3620	1,3650
Содержание спирта, %	60,11	69,96	89,49	89,69	88,97	90,05
Показатель pH	8,84	6,87	5,47	5,51	9,84	7,75



**Рис. 1 – Результаты определения содержание спирта в % в образцах антисептиков**

На рис. 2 представлены результаты определения показателя pH образцов антисептических средств. Видно, что образцы № 3 и № 4, со значениями pH 5,47 и 5,51 соответственно имеют слабокислую среду, приближенную к среде кожного покрова человека. Относительно высокие значения pH, соответствующие щелочной среде, обнаружены

у образцов № 5 (9,84) и № 1 (8,84). Показатели рН образцов № 2 (6,87) и № 6 (7,75) наиболее приближены к нейтральной среде.



**Рис. 2 – Результаты определения рН образцов антисептиков**

Таким образом, полученные в рамках проведенного исследования результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Показатель рН и процентное содержание спиртов являются одними из важнейших показателей качества и безопасности антисептических средств, поскольку определяют эффективность их использования и безопасность для кожи человека.

2. В состав гелеобразных антисептиков входит глицерин, который увеличивает значение показателя преломления, что приводит к искажению полученных результатов определения содержания спирта рефрактометрическим методом.

3. Рефрактометрический метод определения количества спирта в антисептиках применим для средств жидкой консистенции, не содержащих в составе большого количества вспомогательных компонентов.

4. Среди жидких антисептиков наилучшие результаты по показателям безопасности и эффективности были получены у образцов № 3 (Септоцид Р) и № 4 (Септаль) белорусского производства.

#### **Список использованных источников**

1. Васильев В.П. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа. / В.П. Васильев. – Москва: Дрофа, 2007. – 383 с.
2. Брайкова А.М. Методы и средства исследования продовольственных товаров: Практикум с грифом УМО (электронное

изд.). – Минск: БГЭУ, 2021. [Электронный ресурс]. – <http://edoc.bseu.by:8080/handle/edoc/87651>.

3. Физика: Справочник. Физические величины. / А.П. Баби́чев [и др.]; под общ. ред. И.С. Грегорьева. - Москва: Авторы, 1991. – 1232 с.

УДК 665.62

**Х.М. Тошбоев, Ш.П. Нуруллаев**

Шуртанский газохимический комплекс,  
Ташкентский химико-технологический институт

### **УПРОШЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛЕНОВОГО МОНОМЕРА МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА НА ШГХК**

*Аннотация.* В работе изучены пути совершенствования получения этиленового мономера пиролизом углеводородного сырья на ШГХК и произведены кинетические, а также активационные параметры пиролиза пропана и образование метана и этиленового мономера. Расчет константы скорости ( $k$ ) проводился по уравнению первого порядка, который подтверждается прямолинейной зависимостью  $\ln I / I - \alpha$  от времени контакта фаз.

**X.M. Toshboev, Sh.P. Nurullaev**

Shurtan gas chemical complex,  
Tashkent chemical-technological institute

### **SIMPLIFIED MODEL OF OBTAINING ETHYLENE MONOMER BY THE METHOD OF PYROLYSIS AT ShGCC**

*Abstract.* In this work, the ways of improving the production of ethylene monomer by pyrolysis of hydrocarbon raw materials at ShGKhK were studied and the kinetic and activation parameters of propane pyrolysis and the formation of methane and ethylene monomers were obtained. The calculation of the rate constant ( $k$ ) was carried out according to the first-order equation, which is confirmed by the rectilinear dependence of  $\ln I / I - \alpha$  on the time of phase contact.

Этилен является сырьем получения этиленоксида (целевая продукция—этиленгликоли, полиэтилентерефталат и др.), ацетальдегида (целевая продукция—уксусная кислота, ацетат целлюлозы), винилацетата (целевая продукция-поливинилацетат и его сополимеры), дихлорэтана (целевая продукция-поливинилхлорид и его

сополимеры), этилен-бензола (целевая продукция–полистирол и его сополимеры, бутадиен – стирольные каучуки и латексы), этанола (целевая продукция–этилацетат) и других продуктов органического синтеза. Олигомеры этилена являются основой ряд синтетических смазочных масел. Одной из важнейших задач газоперерабатывающей промышленности является усовершенствование существующих способов переработки попутных газов в низшие алкены  $C_2-C_4$ , которые используются в качестве базового сырья для производства полимеров и каучуков. Таким образом, производство имеет большое практическое значение для экономики народного хозяйства нашей республики. В связи с этим представляет несомненный интерес и актуальной задачей является исследование деятельности производства этилена и его техническое совершенствование в плане получения этиленовых мономеров, пропилена, изобутилена, бутадиена-1,3 и изопрена из природных газов.

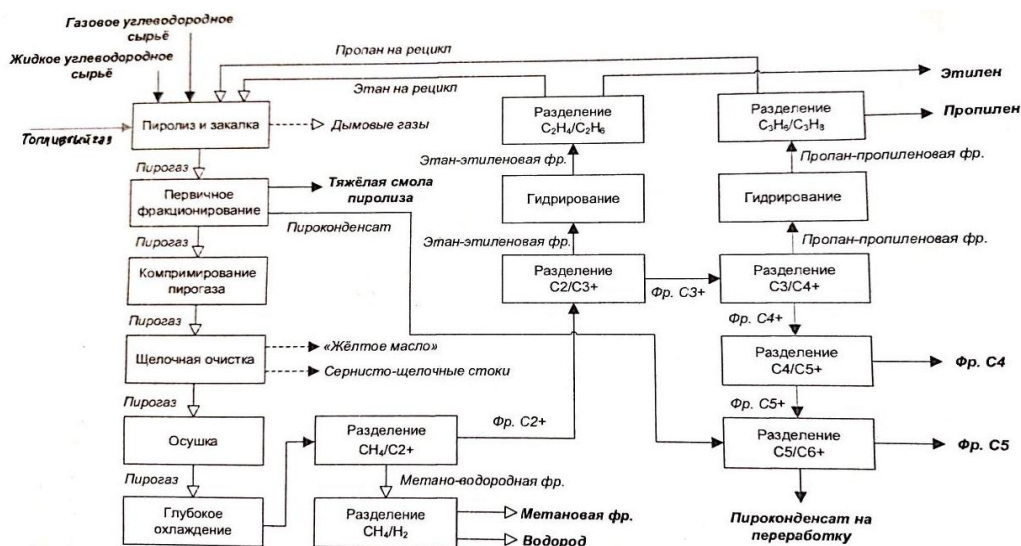
Процесс пиролиза для получения этилена осуществляется в печах различного устройства, пропусканием газообразных углеводородов или их паров при температуре  $760-780^{\circ}C$ , что определяет его высокую энергоемкость. Обычно используются печи трубчатого типа. Кроме того, высокие температуры способствуют также усилению вклада побочных процессов саже и смолообразования синтезу конденсированных нафтенов и ароматических соединений. Для получения этилена и его гомологов методом пиролиза в качестве сырья используют этан, пропан, бутан, содержащиеся в попутных газах нефте-добычи, газах термического и каталитического крекингов, а также жидкие углеводороды: газовый бензин и низкооктановые фракции прямой гонки нефти. Состав продуктов пиролиза этого сырья зависит от глубины конверсии (степени превращения), которая в промышленной практике определяется конкретными условиями производства: необходимостью выработки заданного объема продуктов, загруженностью узла компреми-рования и системы газоразделения, энергетическими затратами и др. Ниже показано выход этилена, конверсия и рецикл этана. При пиролизе любого сырья не превращённый этан всегда возвращается в процесс. И в этом случае степень его превращения может определяться конкретными условиями.

В работе изучена зависимость ассортимента и выхода целевых продуктов процесса пиролиза от состава углеводородного сырья на ШГХК.

## УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ЭТАНОВОГО РЕЦИКЛА



Технологический процесс пиролиза состоит из следующих основных стадий: пиролиз в трубчатых печах, подготовка пирогаза к компримированной, компримирование пирогаза, очистка и осушка, глубокое охлаждение, газоразделение и переработка пироконденсата. Помимо этилена, на установках пиролиза получают водород, метан, пропилен, фракцию  $C_4$ , содержащую 30-40 % масс. Бутадиена, 25-30 % масс. изобутилена, фракцию  $C_5$ , тяжелую смолу пиролиза и пиролизный бензин (жидкие продукты пиролиза), из которой выделяют ароматические углеводороды. Поточная схема процесса пиролиза приведена на рис.1. Пиролиз представляет собой кратковременную высокотемпературную обработку углеводородного сырья при 750-880 $^{\circ}C$  с целью получения пирогаза с максимальным содержанием этилена и пропилена.



**Рис. 1 - Принципиальная схема процесса пиролиза углеводородного сырья.**

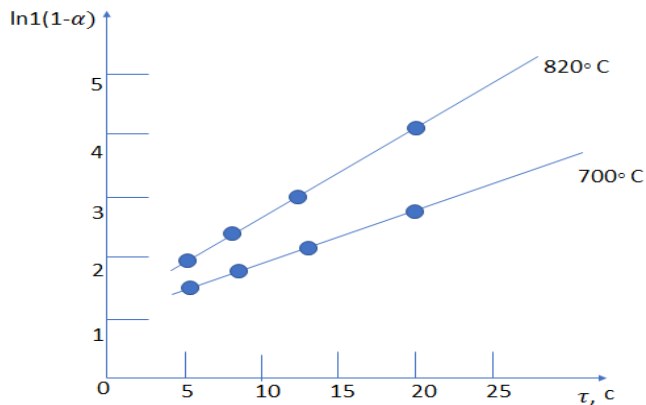
Процесс сопровождается значительным количеством химических превращений углеводородов. Изучена изменение контроля температуры в колонне щелочной доочистки DA-1201 по входные температуры пирогаза, так как во время эксплуатации узла щелочной

очистки и нейтрализации, отработанной щелочи наблюдалась проблема образования полимера в колонне щелочной доочистки DA-1201, которая является признаком развития нежелательных реакций в колонне. В результате образования полимера в колонне DA-1201 наблюдалось накопление полимера и засорение тарелок колонны и фильтров насосов верхней и нижней циркуляции щелочного раствора и отработанной щелочи. Кроме этого, при сливе жёлтого масла в контейнеры происходит забивание трубопроводов и контейнеров. Если в составе отработанной щелочи имеются полимеры, наблюдается загрязнение трубопроводов отработанной щелочи на входе установки 4000. По проекту было предусмотрено контроль температуры реакции поликонденсации в DA-1201 по выходной температуре пирогаза регулирующим клапаном ТС-12001, который установлен на входе закалочной воды в теплообменник EA-1204. Однако из-за колебания температуры промывочной воды, подаваемой в щелочную колонну и резкого изменения состава и расхода пирогаза, возможность поддержания эффективного контроля температуры колонны DA-1201 уменьшится, и вследствие чего, вероятность развития нежелательных реакций увеличится. Поэтому предложена изменить контроль регулирующего клапана ТС-12001 по температуре входа пирогаза. Применение данного предложения за три месяца дало положительный результат.

В результате взаимодействия щелочи и сероводорода образуются сернисто-щелочные стоки, а в процессе протекания побочных реакций альдольной конденсации образуется побочный продукт – «жёлтое масло». «Жёлтое масло» выводят на термическое обезвреживание совместно с обработанным углеводородным растворителем с узла обезвреживания сернисто-щелочных стоков. Одной из наиболее типичных проблем в нормальной эксплуатации колонн щелочной очистки на этиленовых установках является проблема образования так называемого «желтого масла» (иногда называемого «красного масла») в результате протекания реакций полимеризации при условиях щелочной очистки пирогаза. Загрязнение системы «желтым маслом», приводит к загрязнению внутренних устройств колонны с последствиями снижения эффективности работы колонны выражающейся в ухудшении степени извлечения кислых газов, повышению потребления свежей щелочи, повышению расхода отработанной щелочи, приводящего к увеличению стоимости обработки стоков, загрязнению отработанной щелочи. Интенсивность протекания процесса полимеризации может быть четко определена по цвету раствора щелочи. Цвет раствора изменяется до оранжевого и



красно-коричневого при значительном образовании полимеров. Периодически удаление образовавшегося «желтого» масла осуществляется в кубовой части колонны, чтобы оно не рециркулировало и не приводило к дальнейшему загрязнению. Плотность «желтого масла» меньше плотности щелочного раствора и, поэтому, оно должно скапливаться над уровнем щелочного раствора в секции отработанной щелочи. При эксплуатации щелочной колонны в течение многих лет было выявлено, что образование желтого масла может увеличиваться при повышенных температурах и концентрацией щелочи выше рекомендованного значения. Разделение «желтого масла» от щелочи в кубе колонны является трудным процессом по причине малого размера куба колонны ДА-1201 и постоянного прохода пирогаза через щелочной раствор, то есть барботирование щелочного раствора, которое не даст возможности отслаивания желтого масла и щелочи должным образом. Рассчитаны кинетические и активационные параметры пиролиза пропана и образование метана и этиленового мономера. Расчет константы скорости ( $k$ ) проводился по уравнению первого порядка, который подтверждается прямолинейной зависимостью  $\ln 1/(1-\alpha)$  (где  $\alpha$  - степень превращения) от времени контакта фаз ( $\tau$ ), приведенной на рис. 2.



**Рис. 2 - Зависимость степени превращения углеводородов от времени контакта фаз.**

Таким образом, впервые выполнен путь совершенствования получения этиленового мономера пиролизом углеводородного сырья на ШГХК с целью использования результатов работы в производственной деятельности.

**К.И. Воробей, Е.В. Тимошенко**

Полоцкий государственный лесной колледж

## **ЭКОПОЛЕНЬЯ ИЗ ЛИСТЬЕВ: МИФ ИЛИ ПРАВДА?**

*Аннотация.* В последние годы энергоресурсы и их дефицит – одна из самых обсуждаемых тем на мировой арене. Помимо нефти и газа, к ним можно отнести дрова, которые и в наше время широко используются. При этом помимо обычных дров сегодня в ходу экодрова, спрессованные из опилок. Другие названия – евродрова, древесные гранулы или брикеты.

**K.V. Vorobey, Y.V. Timoshenko**

Polotsk State Forestry College

## **LEAVE ECOLOGY: MYTH OR TRUTH?**

*Abstract.* In recent years, energy resources and their shortage have been one of the most discussed topics on the world stage. In addition to oil and gas, firewood can be attributed to them, which are still widely used in our time. Moreover, in addition to ordinary firewood, eco-woods pressed from sawdust are in use today. Other names are eurowood, wood pellets or briquettes.

Листья падают в парках, садах и на улицах - их много. Одни специалисты утверждают, что в такой листве зимуют вредители и возбудители болезней. Другие же настаивают, что опавшие листья представляют собой ценное удобрение и защищают почву от промерзания. Третьи просто сжигают листья. А мы рассматриваем листву как ценный ресурс, а не мусор! Области использования опавшей листвы различны. Опавшие листья являются ценным природным сырьем. В нашей работе мы попытаемся рассмотреть листья, как альтернативный источник топлива. И проверить гипотезу: ЭКОПОЛЕНЬЯ ИЗ ЛИСТЬЕВ: МИФ ИЛИ ПРАВДА?

Каждый из нас хоть однажды сжигал опавшие листья. Но не каждому пришло бы в голову топить листьями печку. Обычную охапку листьев запихивать в очаг крайне хлопотно и, главное, совсем неэффективно. Однако есть другой путь — специальные поленья. Ещё в начале 2000х годов англичане Питер Моррисон и Шэррон Уормингтон и их компания BioFuels International стали превращать сброшенную кронами листву в поленья — Leaf Log.

Как заявляет сам Питер: «Всё началось с одной экспериментальной горючей таблетки, которую я сделал дома из хорошо просушенных и спрессованных листьев залив их обычным

воском. После того мне удалось вскипятить на ней литр воды, я понял, что технология имеет право на жизнь. Ведь листья – это отличное топливо, которое буквально валялось у нас под ногами и которое мы выбрасывали, либо, в лучшем случае, использовали в качестве удобрения. А теперь мы имеем двойную выгоду – утилизируем листья и делаем из них отличное, экологически чистое топливо».

Экспериментальным путём Питер установил, что лучшие результаты при горении даёт такой состав экополена – 70% листвы + 30% воска. Воск выступает в качестве связующего звена и средства для растопки. Одно полено Leaf Log весит 1,2 килограмма, а длина его равна 28 сантиметрам. Одна упаковка из 10 экополеньев стоит чуть меньше 60\$. А для изготовления одного экополена необходимо собрать большой мешок листьев. Кроме того, такие полена горят лучше и дольше чем древесное топливо и по своим характеристикам приближаются к высококачественному углю. Также при горении практически отсутствует дым и выделение вредных веществ.

Главным элементом производства является пресс. Для начала нужно определиться, какой формы будут готовые элементы и в зависимости от этого выбирать оборудование. Чаще всего применяются брикеты круглой или цилиндрической формы. В наши дни существует немало фирм, специализирующихся на производстве, доставке и установке оборудования для изготовления прессованного топлива. Единственный минус — цена таких аппаратов достаточно велика.

Поэтому, если не планируется изготовление большого количества материала для продажи, выгоднее сделать устройство собственными руками.

После того как пресс приобретён или изготовлен, мастер может приступать к производству евродров. Оно состоит из нескольких этапов:

- Собрать и измельчить опавшую листву. Большой плюс в том, что недостатка в сырье не бывает. Если на собственном участке листвы мало, её собирают в лесу либо заключают договор с администрацией парков, скверов, учреждений о сборе и вывозе прошлогодних листьев с участков. Обычно руководство весьма заинтересовано в бесплатной очистке территории от листвы. Чтобы знать, сколько примерно потребуется сырья для задуманного количества топлива, необходимо учитывать, что в среднем из одного мешка листьев получается одно полено.

- Добавить в ёмкость с листьями связующее звено. Это может быть сухая глина, дешёвый клей для обоев или воск.

- В полученную смесь влить воду, всё тщательно смешать. В результате должна получиться масса, напоминающая по консистенции липкую кашу. Она не должна быть слишком густой или жидкой. От количества воды будет зависеть плотность готовых гранул.

- Влить массу в матрицу, сжать прессом. Необходимо следить, чтобы из смеси выходило побольше влаги.

- Достать готовые изделия и выложить их на солнце для просушки. Каждый элемент должен находиться отдельно от другого. После того, как брикеты полностью высохнут, их можно складывать вместе.

Чтобы составляющие частички лучше склеивались, в массу можно всыпать немного крахмала из картофеля. Добавленные газеты повысят горючие свойства материала.

Пересмотрев достаточно много информации в интернете, мы решили сами проверить гипотезу, что листья могут быть альтернативным источником энергии.

Опавших листьев начиная с конца августа в нашем регионе достаточно много. Собрав нужное количество, оставили их в проветриваемом помещении для высыхания.



Затем перекрутили ведро сухих листьев на мясорубку. К сожалению, не обошлось без потерь: ножи мясорубки не выдержали давления и сломались. Перекрученные листья перемешали с глиной, водой и упаковкой от яиц. Перемешали все и заложили полученную смесь в заранее подготовленную форму. Для формы взяли канализационную трубу диаметром 5 см. полученное полено получилось тяжелым и не горело. Скорее всего его можно было бы использовать как строительный материал. Таким образом первый опыт был неудачным.

Во втором опыте измельченные листья перемешали с разведенным обойным клеем и разложили в подготовленные формы. Оставили до закрепления. Через сутки достали поленья из форм и оставили досушиваться в естественных условиях. После полного высыхания поленьев из листьев приступили к эксперименту. Полученные экодрова загорелись, но горели не долго. Они очень хорошо тлели, выделяя большое количество тепла.



Далее при изготовлении экополеньев мы брали не только измельченные листья, но и целые. Скрепляли не только разведенным обойным клеем, но и разведенным крахмалом, грунтовкой и другими жидкостями, которые склеивали частички листьев. Добавляли газеты.



После нескольких опытов можно сказать следующее: если листья будут измельченными и сильноспрессованными, то они будут хорошо и долго тлеть практически без огня; если экополенья будут не из измельченных листьев и не сильно спрессованы, то они будут хорошо гореть.

И в заключении хотелось бы сказать

- Изготовить евродрога довольно просто. Даже неопытный мастер справится с этим делом, достаточно лишь приобрести пресс в магазине или сделать его самостоятельно.
- Длительное горение. Один брикет массой 1кг пылает от одного до четырёх часов, постоянно выделяя тепло.
- Небольшое количество искр и дыма.
- Для изготовления используются экологически чистые материалы. Оставшуюся золу можно применить в качестве натурального удобрения.
- Экономия средств. Стоимость кубометра альтернативного топлива гораздо ниже, чем такое же количество дров либо угля, причём теплоотдача несколько выше.
- Материал просто хранить. Пеллеты из листьев не занимают много места, их можно просто сложить в полиэтиленовые мешки и убрать в подвал. Кроме того, они способны длительное время находиться во влажных помещениях, сохраняя свои свойства.
- Брикетами можно топить все виды оборудования: кирпичные и металлические печи, котлы, камины.

Кроме этого, топливо можно производить не только для собственных нужд, но даже и на продажу. Такой собственный бизнес поможет получить прибыль, затратив минимум средств.

### **Список использованных источников**

1. <https://oventilyacii.ru/otoplenie/kak-sdelat-toplivnye-brikety.html>
2. <https://otopleniedomov.com/stroitelnye-novosti/chto-takoe-ehkodrova.html>
3. <https://zapusti.biz/biznes-idei/proizvodstvo-evrodrov>

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

*Аннотация.* Работа посвящена анализу применения титановых сплавов в медицинских целях. Несмотря на существенные преимущества титановых сплавов перед другими традиционными сплавами, антифрикционные свойства довольно низкие, что требует модифицирование поверхности титановых сплавов. Для этой цели перспективно использование электролитно-плазменной обработки.

**A.S. Kalinichenko, V.G. Lugin**

Belarusian State Technological University,  
Republic of Belarus

## **SOME FEATURES OF SURFACE PHASE ANALYSIS OF TITANIUM ALLOYS' PARTS**

*Abstract.* The work is devoted to the analysis of the titanium alloys' application for medical purposes. Despite the significant advantages of titanium alloys over other traditional alloys, the antifriction properties are quite low, which requires modification of the titanium alloys surface. The use of electrolyte-plasma treatment is rather promising for this purpose.

Благодаря особым свойствам титан и сплавы на его основе получили в настоящее время широкое распространение при производстве ряда ответственных изделий в авиастроении, атомной энергетике, космической технике, ультразвуковой технике, а также при производстве изделий медицинского назначения. Особый интерес представляет производство изделий медицинского назначения, что в последнее время является одной из важнейших сфер применения титана и его сплавов. К таким изделиям относятся, например, зубные и костные имплантаты, искусственные клапаны сердца, инструменты и приспособления для травматологии, черепные пластины, фиксаторы позвоночника, и многое другое. К важнейшим преимуществам титана и титановых сплавов относятся малая плотность, высокая удельная прочность (почти вдвое превышает удельную прочность легированных сталей), высокая жаропрочность и чрезвычайно высокая коррозионная стойкость, обусловленная способностью титана образовывать на поверхности тонкие сплошные оксидные пленки.

Титан подобно железу является полиморфным металлом и имеет фазовое превращение при температуре 882°C. Ниже этой температуры

устойчива гексагональная плотноупакованная кристаллическая решетка  $\alpha$ -титана, а выше –объемно центрированная кубическая решетка  $\beta$ -титана. При этом имеются недостатки, которые ограничивают, а в некоторых случаях делают невозможным применение титана при изготовлении многих изделий. К ним относятся низкая износостойкость и усталостная прочность, плохие антифрикционные свойства, обусловленные налипанием частиц титана на контртело, в особенности при работе пары трения титан-титан. Поэтому применение изделий из титана и его сплавов в узлах трения и в подвижных соединениях является крайне ограниченным. Обладая незначительной толщиной окисной пленки и большой реакционной способностью участков поверхностей, образующихся в процессе трения, титан склонен к схватыванию с последующим повреждением поверхностей контакта. Особо этот недостаток проявляется при повышенных температурах контакта. Примерами таких деталей являются плунжеры насосов, детали типа вал-втулка, работающие в условиях агрессивной среды, винтовые пары конструкций, используемых в травматологии и ортопедии [1].

Существующие способы повышения твердости, износостойкости и антифрикционных характеристик поверхности изделий авиационной техники, машиностроения и медицины из титана и его сплавов, применяемые в настоящее время в мировой практике, основаны на модифицировании поверхностного слоя с применением ионно-плазменных и химико-термических методов. Применяемые методы позволяют получать на поверхности титана и его сплавов упрочненные слои с микротвердостью до 20 ГПа и толщиной до 0,2 мм. Повышение прочностных и антифрикционных свойств поверхности титана и его сплавов методом химико-термической обработки достигается за счет диффузионного насыщения азотом, бором, кремнием, металлами. Наиболее распространенным видом химико-термической обработки титана и титановых сплавов является азотирование, позволяющее добиться высоких значений микротвердости. Химико-термическое азотирование титана проводится в атмосфере аммиака или азота при температуре 870 и 980 °С соответственно. Недостатком данного метода является ухудшение таких механических свойств титана как прочность, пластичность и вязкость из-за образования на поверхности детали как с нитридных, так и гидридных соединений. Другим недостатком способа является малая глубина упрочненного слоя – до 0,16 мм. Кроме того, максимальное упрочнение поверхности достигается после очень продолжительной обработки, которая составляет 16 часов [2].

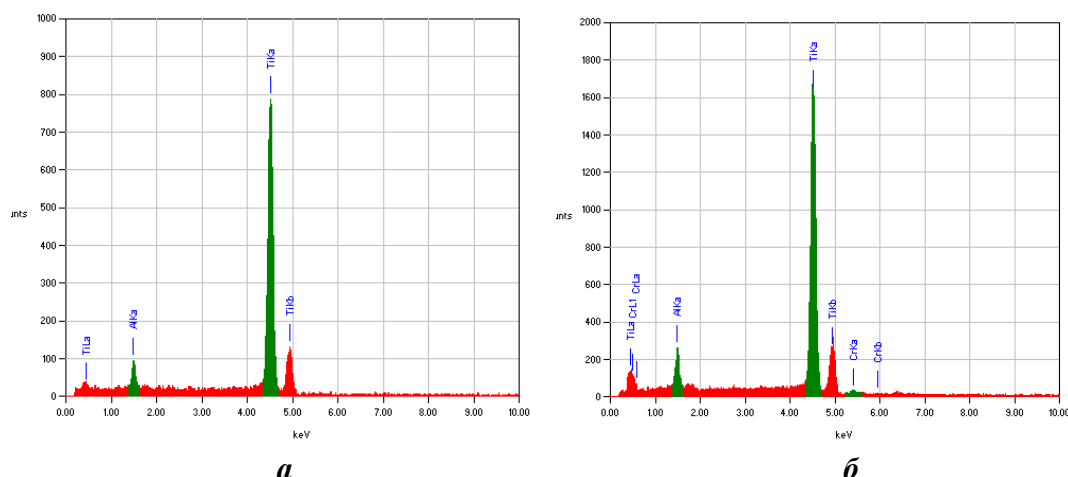
Ионно-плазменное азотирование обеспечивает диффузионное насыщение поверхностного титана и титановых сплавов азотом в азотной плазме при температуре 800–950 °С. Кроме повышения износостойкости и антифрикционных характеристик, метод обеспечивает повышение коррозионной стойкости поверхности титана. К недостаткам метода необходимо отнести сложность его реализации, необходимость дорогостоящего технологического оборудования и достаточно большую длительность обработки – 3–6 часов, в зависимости от марки титанового сплава [3].

В качестве альтернативы существующим методам модифицирования поверхности титана и титановых сплавов может быть использован метод электролитно-плазменного нагрева в азот- или углеродсодержащем электролите с последующей закалкой. При подаче напряжения в диапазоне 100–300 В на электрохимическую ячейку, вокруг заготовки происходит локальное вскипание жидкости за счет выделения джоулева тепла. В этих условиях электролит вблизи поверхности заготовки разогревается до температуры кипения и обрабатываемая заготовка, оказываясь отделенной от основной массы электролита, разогревается до температуры 400–1100 °С [4].

Преимуществами разработанных методов перед другими существующими методами термической обработки являлась высокая скорость нагрева заготовки (до 250 К/с), а также высокая скорость диффузионного насыщения. Высокие температуры заготовки позволяют проводить насыщение поверхности атомами легких элементов, содержащихся в веществах-донорах, растворенных в электролите. Наличие в электролите углеродсодержащих и азотсодержащих компонентов обуславливает определенный углеродный или азотный потенциал парогазовой оболочки, в результате чего становится возможной химико-термическая обработка. В условиях электролитно-плазменного нагрева интенсифицируются диффузионные процессы, что позволит значительно сократить время химико-термической обработки до 5–10 мин. Кроме того, применение электролитно-плазменного нагрева позволит сформировать на поверхности защитный оксидный слой, обеспечивающий дополнительное повышение коррозионной стойкости.

Проведенный структурно-фазовый анализ подтвердил возможность модифицирующей электролитно-плазменной обработки для повышения триботехнических свойств изделий из титановых сплавов (рис. 1).





**Рис. 1 – Структурно-фазовый анализ исходного сплава (а) и после модифицирования (б).**

Анализ данных свидетельствует о появлении новых пиков, подтверждающих модификацию поверхности.

**Выводы.** Проведенный анализ показал перспективность применения электролитно-плазменной обработки для повышения триботехнических свойств изделий из титановых сплавов, работающих в условиях трения.

### **Список использованных источников**

1. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / В. В. Савич, Д. И. Сарока, М. Г. Киселев, М. В. Макаренко ; под науч. ред. В. В. Савича. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 244 с.
2. Яшкова, С. С. Повышение прочностных характеристик титановых сплавов / С. С. Яшкова, Н. В. Бобков. // Молодой ученый. — 2016. — № 28 (132). — С. 215-217. — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/132/36752/> — Дата доступа: 24.03.2021).
3. Погребняк А.Д., Базыль Е.А., Свириденко Н.В. Влияние облучения электронными и ионными пучками на физико-механические свойства титановых сплавов // Успехи физ. мет. 2004, т. 5, сс. 257–281
4. Особенности электроимпульсного полирования металлов в электролитной плазме. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://melt-spb.ru/oborudovanie/elektrohimicheskaya-polirovka-metalla.html> – Дата доступа: 26.03.2021 г.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках задания 3.2.9 ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии».*

УДК 535.215; 535.3

**Д.С. Камбар, Т.Е. Сейсембекова, Б.В. Командир,  
А.К. Аймуханов, А.К. Зейниденов**  
Карагандинский университет им. Е.А. Букетова  
Центр Нанотехнологий и функциональных наноматериалов  
Караганда, Казахстан

## **КОНКУРЕНТНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА В ИНВЕРТИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{SnO}_2$**

***Аннотация.** Установлено, что есть оптимальная толщина пленок  $\text{SnO}_2$ , при которой наблюдается баланс между эффективностью транспорта и рекомбинацией носителей зарядов. В этом случае электроны в фотоактивном слое обладают максимальным временем жизни носителей заряда и низкой вероятностью к рекомбинации. Анализ полученных ВАХ показал, что использование  $\text{SnO}_2$  приводит к повышению эффективности преобразования солнечной энергии.*

**D.S. Kambar, T.E. Seisembekova, B.V. Komandir,  
A.K. Aimukhanov, A.K. Zeinidenov**  
Karaganda State University named after Academician E.A. Buketova  
Center of Nanotechnology and Functional Nanomaterials  
Karaganda, Kazakhstan

## **COMPETITIVE CHARGE TRANSPORT PROCESSES IN THE INVERTED POLYMER SOLAR CELLS BASED ON $\text{SnO}_2$ THIN FILMS**

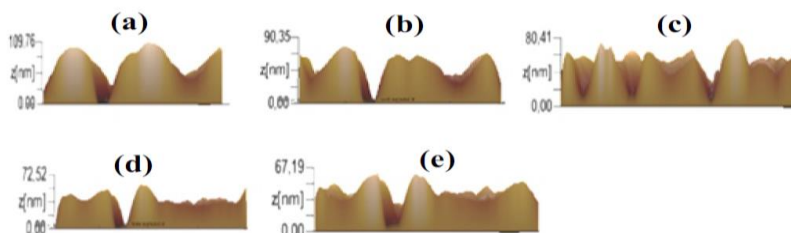
***Abstract.** It is established that there is an optimal thickness of  $\text{SnO}_2$  films, at which a balance is observed between the efficiency of transport and recombination of charge carriers. In this case, the electrons in the photoactive layer have the maximum lifetime of charge carriers and a low probability of recombination. Analysis of the obtained VAC showed that the use of  $\text{SnO}_2$  leads to an increase in the efficiency of solar energy conversion. It is established that the current density of the photoelectrode depends on the thickness of the  $\text{SnO}_2$  films.*

Оксид  $\text{SnO}_2$  обладает лучшей дырочной проводимостью [1], что даст возможность более быстрому переносу фотоиндуцированных дырок с активного слоя к электроду и тем самым снизит вероятность рекомбинации носителей заряда и увеличит фототок ячейки. ОСЭ на основе  $\text{SnO}_2$  электрода имеют недостаточно высокое фотонапряжение

из-за более низкого положения квазиуровня Ферми электронов (EF) в SnO.

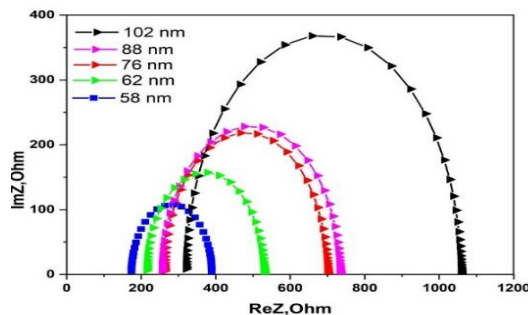
Снимки морфологии поверхности пленок SnO<sub>2</sub> в масштабе 1x1 мкм представлены на рис. 1. Как видно из АСМ-изображений, нанесение раствора при различных оборотах центрифуги оказывает влияние на морфологию поверхности. Морфология пленок SnO<sub>2</sub>, полученных при оборотах вращения центрифуги 2000-4000 об/мин, имеют шероховатость поверхности 4,8-2,7 нм соответственно. Увеличение скорости вращения центрифуги 5000-6000 об/мин приводит к уменьшению шероховатость поверхности до 1,6 нм.

Изучение толщины пленки SnO<sub>2</sub> производилось по глубине царапины на поверхности SnO<sub>2</sub>. Данные о толщине полученных пленок SnO<sub>2</sub> при разных оборотах центрифуги представлены на рис. 1.



**Рис. 1 - Изображения толщины пленок SnO<sub>2</sub> полученных при разных скоростях вращения**  
а) 2000 об/мин, б) 3000 об/мин, в) 4000 об/мин, д) 5000 об/мин, е) 6000 об/мин.

Исследования механизмов транспорта и рекомбинации носителей заряда в тонких пленках смеси полимеров РТВ7-ТН:ITIC с различной толщиной SnO<sub>2</sub> проводились методом импедансной спектроскопии [2]. Импеданс спектры в координатах Найквиста на основе тонких пленок представлены на рис. 2. В таблице 1 представлены основные электротранспортные свойства. Для интерпретации спектров импеданса использовалась эквивалентная электрическая схема. Фитинг спектров импеданса рассчитывался при помощи программного пакета EIS-analyzer. Используя метод импедансной спектроскопии, был проведен анализ электротранспортных характеристик солнечных ячеек [3]. Анализ годографов показал, что изменение толщины пленок SnO<sub>2</sub> приводит к изменению электротранспортных характеристик полимерного солнечного элемента.



**Рис. 2 - Годографы импеданса инвертированных нанокompозитных ОСЯ на основе пленок SnO<sub>2</sub> с различной толщиной**

С увеличением скорости вращения spin-coater, толщина пленок SnO<sub>2</sub> уменьшается, что должно способствовать уменьшению сопротивления ( $R_w$ ) пленки. Из таблицы видно, что с уменьшением толщины пленок сопротивление  $R_w$  также уменьшается, что в целом должно улучшать инжекцию электронов в FTO. Однако, как видно из таблицы, уменьшение толщины фотоактивного слоя приводит также к уменьшению сопротивления  $R_{rec}$ , что приводит к усилению рекомбинации электронов на границе раздела. С одной стороны уменьшения  $R_w$ , способствует быстрому транспорту электронов, но с другой стороны происходит конкурирующий процесс рекомбинации через сопротивления  $R_{rec}$ , которая также уменьшается, что увеличивает скорость рекомбинации.

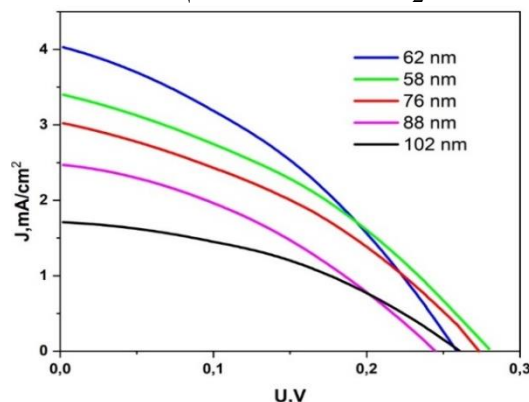
Мы предполагаем, что есть оптимальная толщина пленок SnO<sub>2</sub>, где наблюдается баланс между эффективностью инжекции и рекомбинацией носителей зарядов. В этом случае электроны в фотоактивном слое обладают максимальным временем жизни носителей заряда и низкой вероятностью к рекомбинации. Из анализа спектров импеданса следует, что оптимальной является толщина 58 нм, где время жизни носителей заряда составило  $\tau_{eff} = 0,9$  мс (таблица 1).

**Таблица 1 - Значение электрофизических параметров пленок SnO<sub>2</sub>**

Film thickness, rpm	$R_w$ , (Ohm)	$R_{rec}$ , (Ohm)	$R_{rec} / R_w$	$\tau_{eff}$ , (ms)	$k_{eff}$ , (s <sup>-1</sup> )
58	174	215	1.2	0.9	10704
62	214	314	1.4	0.8	12221
76	245	458	1.8	0.5	18190
88	262	437	1.6	0.4	20768
102	320	738	2.3	0.4	23711

На рис. 3 приведены вольтамперные характеристики органических солнечных ячеек на основе фотоактивного слоя РТВ7-Th:ITIC с разной толщиной пленок SnO<sub>2</sub>. В таблице 2 приведены фотовольтаические параметры органических солнечных ячеек. При фотовозбуждении фотоактивного слоя РЗНТ:ICMA образуется

электрон-дырочная пара, которая затем на границе раздела распадается на свободные носители заряда [4]. После электрон инжектируется в ETL нанокompозитный слой SnO<sub>2</sub> а дырка в HTL слой MoO<sub>3</sub>. Параметры ВАХ зависят от толщины слоя SnO<sub>2</sub>.



**Рис. 3 - Вольтамперная характеристика полимерного солнечного элемента в зависимости толщины пленок SnO<sub>2</sub>**

С уменьшением толщины пленок SnO<sub>2</sub> до значения 62 нм наблюдается возрастание значения тока короткого замыкания в 2,3 раза и изменения напряжения холостого хода в 1,12 раз (таблица 2). Причем как видно из рисунка при дальнейшем уменьшении толщины SnO<sub>2</sub> наблюдается уменьшения значения тока короткого замыкания. Наблюдаемой уменьшение значения тока, очевидно, связано с тем, что пленка становится настолько тонкой, что в ней образуются разрывы, через которые происходит утечка тока. При толщине пленки 62 нм КПД ячейки составляет 0,38%. При уменьшении толщины пленки до 58 нм КПД ячейки уменьшилось до 0,17 %.

**Таблица 2 - Фотовольтаические характеристики органических солнечных ячеек**

SnO film thickness, nm	$J_{sc}$ mA/cm <sup>2</sup>	$U_{oc}$ V	$J_{max}$ mA/cm <sup>2</sup>	$U_{max}$ V	$FF$ %	$\eta$ %
58	3.4	0.28	2.0	0.18	0.38	0.29
62	4.0	0.25	2.4	0.16	0.38	0.38
76	3.0	0.27	1.8	0.17	0,37	0.26
88	2.5	0.24	1.7	0.15	0,43	0.23
102	1.7	0.25	1.1	0.16	0.41	0.17

Методом золь-гель разработаны методы синтеза пленок SnO<sub>2</sub>. Показано, что при уменьшении толщины пленки до 58 нм шероховатость поверхности уменьшается до 1,6 нм. С уменьшением толщины пленок SnO<sub>2</sub> до значения 62 нм также наблюдается возрастание значения тока короткого замыкания в 2,3 раза и изменения

напряжения холостого хода в 1,12 раз. Аналогично, как и в случае пленок ZnO, при дальнейшем уменьшении толщины SnO<sub>2</sub> наблюдается уменьшения значения тока короткого замыкания. При толщине пленки 62 нм КПД ячейки составляет 0,38%. При уменьшении толщины пленки до 58 нм КПД ячейки уменьшилось до 0,17%. Наблюдаемой уменьшение значения тока для пленок ZnO и SnO<sub>2</sub>, очевидно, связано с тем, что пленка становится настолько тонкой, что в ней образуются разрывы, через которые происходит утечка тока.

### **Список использованных источников**

1 Rogé V., Didierjean J., Crépellière J., Arl D., Michel M., Fechete I., Dinia A., Lenoble D. Tuneable Functionalization of Glass Fibre Membranes with ZnO/SnO<sub>2</sub> Heterostructures for Photocatalytic Water Treatment: Effect of SnO<sub>2</sub> Coverage Rate on the Photocatalytic Degradation of Organics // Catalysts. – 2020. – Vol.10, No.733. – P.1-18. DOI: 10.3390/catal10070733.

2 Гнеденков С., Синебрюхов С. Импедансная спектроскопия в исследовании процессов переноса заряда // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2006. – No. 5. – С. 6–16.

3 Huang Y.F., Inigo A.R., Chang C.C., Li K.C., Liang C.F., Chang C.W., Lim T.S., Chen S.H., White J.D., Jeng U.S., Su A.C., Huang Y.S., Peng K.Y., Chen S.A., Pai W.W., Lin C.H., Tameev A.R., Novikov S.V., Vannikov A.V., Fann W. Nanostructure-dependent Vertical Charge Transport in MEH-PPV Films // Advanced Functional Materials. – 2007. – Vol.17, No.15. – P.2902-2910. DOI:10.1002/adfm.200600825.

4 Dang M.T., Hirsch L., Wantz G. P3HT:PCBM, best seller in polymer photovoltaic research // Advanced Materials. – 2011. – Vol. 23, Iss.31. – P. 3597-3602. DOI: 10.1002/adma.201100792.

УДК 678.033:678.073

**А.В. Касперович, О.М. Касперович, А.Ф. Петрушеня,  
Л.А. Ленартович**

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Республика Беларусь

### **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА**

*Аннотация.* Введение в полимер функциональных добавок приводит к целенаправленному изменению их свойств. В статье рассматривается влияние

наполнителей, таких как оксиды кремния и порошки металлов, потенциально способствующих регулированию теплопроводности полимеров, на деформационно-прочностные и технологические свойства полиэтилена.

**A.V. Kasperovich, O.M. Kasperovich, A.F.Petrushenya,  
L.A. Lenartovich**

Belarusian State Technological University,  
Minsk, Republic of Belarus

## **STUDY OF THE PROPERTIES OF FILLED POLYMER COMPOSITIONS BASED ON POLYETHYLENE**

***Abstract.** The introduction of functional additives into the polymer leads to a targeted change in their properties. The article discusses the effect of fillers, such as silicon oxides and metal powders, potentially contributing to the regulation of thermal conductivity of polymers, on the deformation-strength and technological properties of polyethylene.*

Полимерные материалы занимают все большую долю в объеме производства многих стран, т.к. они просты в переработке, имеют более низкую стоимость, чем, например, сталь, цветные металлы, керамика. Введение в полимеры наполнителей приводит к получению новых композиционных материалов с улучшенными технологическими и эксплуатационными характеристиками.

Полиэтилен занимает одно из ведущих мест среди термопластов по разнообразию получаемых на его основе материалов различного назначения.

Целью данной работы являлся анализ изменения физико-механических свойств полимерных композиций при введении наполнителей, потенциально способствующих регулированию теплопроводности полимерных материалов, и в частности, полиэтилена.

Ненаполненные полимеры в их естественном состоянии являются теплоизоляторами, теплопроводность которых составляет 0,1-0,4 Вт/м\*К. Это обусловлено тем, что передача тепла в полимерах происходит по фононному механизму. Фононы в образце возникают при тепловых колебаниях частиц и рассеиваются при взаимодействии друг с другом или с дефектами структуры. Процессы возникновения, распространения и рассеивания фононов в полимерах осложняются кооперативным характером движений атомов и групп атомов в макромолекулах. Низкая же теплопроводность может привести к сильным локальным перегревам в материале в экстремальных условиях эксплуатации и к разрушению образцов. Низко/средне

наполненные полимеры имеют теплопроводность 0,3-2 Вт/м\*К, что является низким значением для эффективного рассеивания тепла, необходимого для многих технических применений. Высоконаполненные (> 50 об. %) полимерматричные композиты могут обладать теплопроводностью до 32 Вт/м\*К, и, следовательно, могут быть эффективными, с практической точки зрения, теплопроводящими материалами [1].

Среди используемых на сегодняшний день способов регулирования теплопроводности термопластов можно назвать введение в их состав дисперсных, наноразмерных, а так же волокнистых наполнителей различной химической природы. Это могут быть мелкодисперсные порошки металлов, нанонаполнители на основе углерода, которые при введении в полимерную матрицу в сравнительно небольшом количестве заметно улучшают физико-механические, теплофизические и другие свойства полимерных материалов, а так же кремнийорганические наполнители различных производителей, отличающиеся удельной поверхностью, содержанием оксида кремния, уровнем рН и влагосодержанием.

В работе были исследованы смеси из порошкообразного полиэтилена марки LLDPE M3204RUP и наполнителей, в качестве которых выступали: алюминиевая пудра марки ПАП-2 (ГОСТ 5494-95, плотность 2,7 г/см<sup>3</sup>), нано-оксид цинка (плотность 5,61 г/см<sup>3</sup>, размер частиц 21-23 нм), диоксид кремния марок Т50, Т80, Т110 с размерами частиц 50, 36, 25 нанометров соответственно, и площадью удельной поверхности 350-400 м<sup>2</sup>/г, содержание которых в композициях составляло от 0 до 50 мас. %.

Процесс смешения проводился в расплаве в камере капиллярного вискозиметра при температуре 190-210С, с использованием стандартного капилляра  $d_b=2,095\pm 0,005$  мм. Получаемый пруток нарезался на гранулы, которые в последующем помещались в металлическую рамку для прессования и прессовались на гидравлическом прессе типа ПСУ-10 при температуре  $T_n=150-160^\circ\text{C}$  вначале с усилием в 800-1000 кгс в течение 30 секунд, а затем с усилием в 4000-6000 кгс в течение 2-3 минут.

Согласно полученным в ходе исследований результатам, можно сделать вывод о том, что увеличение содержания алюминиевой пудры в качестве наполнителя в композициях на основе полиэтилена в общем случае приводит к уменьшению таких физико-механических свойств композиций, как предел текучести, относительное удлинение при пределе текучести, относительное удлинение при растяжении.



В то же время при введении уже 5 мас. % алюминиевой пудры наблюдается увеличение прочности при растяжении с 10,8 до 13,57 МПа, при этом относительное удлинение при растяжении падает со 107,3 до 32,6 %.

В то же время введение нано-оксида цинка в том же количестве привело к значительному увеличению относительного удлинения при растяжении (с 107,3 до 250,8%) при незначительном повышении модуля упругости с 352 до 403 МПа.

Введение наполнителей в количествах более 10 мас.% закономерно приводит к снижению деформации и увеличению модуля упругости до 885 и 751 МПа соответственно для алюминиевой пудры и нано-оксида цинка при 50%-ном наполнении. При этом для алюминия прочность при растяжении снижается практически вдвое, а для оксида цинка увеличивается с 10,8 до 14,28 МПа.

При введении оксида кремния удалось достигнуть повышения прочности при разрыве на 20% при введении всего 1 мас.% наполнителя Т80 с размером частиц 36 нм, но при этом относительное удлинение снизилось практически в три раза от исходного полиэтилена. Дальнейшее увеличение содержания наполнителя приводило к незначительному увеличению прочности при значительном снижении относительного удлинения и увеличении модуля упругости при растяжении.

Введение оксида кремния марки Т110 с размером 25 нм в количестве 1 мас.% привело к повышению модуля упругости в 1,5 раза по сравнению с исходным полиэтиленом при сохранении прочности и относительного удлинения при растяжении.

Получаемые материалы так же должны иметь технологические характеристики, позволяющие их перерабатывать стандартными методами в заданном температурном диапазоне. Одной из таких характеристик является показатель текучести расплава (ПТР). Можно отметить, что введение указанных наполнителей не приводило к резкому изменению ПТР. Он находился в пределах показателей, позволяющих перерабатывать эти композиции как литьем под давлением, так и экструзией. Значительное уменьшение ПТР наблюдается только при содержании наполнителей более 20 мас. %. В то же время для оксида цинка даже при 50%-ном наполнении ПТР составил 3,09 г/10 мин.

Таким образом, введение в композиции на основе полиэтилена марки LLDPE М 3204RUP наполнителей, используемых для регулирования теплопроводности термопластов, приводит к повышению ряда деформационно-прочностных характеристик при

сохранении ПТР в пределах значений, достаточных для переработки этих материалов стандартными методами – экструзией и литьем под давлением. При этом можно выделить поведение композиций, полученных с использованием нано-оксида цинка в том числе и при высоком (50 мас.%) проценте наполнения.

#### **Список использованных источников**

1. Шевченко В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов: учебное пособие.–М.: 2010.– 98 с.

УДК 674.81

**Э.А. Кириллова, Е.В. Микрюкова**

Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола, Россия

### **МНОГОСЛОЙНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРЫ**

*Аннотация.* Предлагается использование древесной коры для изготовления внутреннего слоя многослойных древесных материалов. Рассмотрена технология изготовления некоторых видов таких материалов.

**E.A. Kirillova, E.V. Mikryukova**

Volga State Technological University,  
Yoshkar-Ola, Russia.

### **MULTILAYER WOOD MATERIALS USING BARK**

*Abstract.* The use of bark for the manufacture of the inner layer of multilayer wood materials is proposed. The technology of manufacturing some types of such materials is considered.

Получающиеся в процессе переработки древесные отходы: кора, опилки, щепа могут быть продуктивно использованы в условиях сельского хозяйства, в энергетических целях, в качестве сырья для получения различных строительных плит и других материалов. Решение проблемы промышленного использования коры приобретает важное значение в плане комплексного использования древесного сырья и рассматривается как одна из актуальных задач [1].

Кора является малоценным отходом, имеющим ограниченное применение. Утилизация древесного отхода, такого как древесная кора,

является одной из важнейших проблем в комплексном использовании древесного сырья. Ее можно прессовать без добавления связующих веществ [2].

В процессе развития технологий деревообработки неоднократно предпринимались попытки использования коры в производстве конструкционных материалов. Введения в общий объем таких материалов коры снизит потребление более дорогих материалов, увеличит звуко-, теплоизоляционные свойства продукта [3].

Не всегда плитные материалы с использованием коры имеют более низкие прочностные показатели. Например, фанерные трехслойные плиты с внутренним слоем из измельченной бересты оказались прочнее однослойных [4].

Клееные композиционные материалы на основе древесины остаются одними из основных конструкционных материалов, используемых в строительстве. Большую группу многослойных композиционных материалов составляют конструкции брусев или панелей с теплоизоляционным слоем (одним или несколькими).

В качестве теплоизоляционного материала для внутренних вставок может использоваться фольгированный порилекс, бруски из вспененного вермикулита, пенополиуретан или минеральной ваты, пенополистирол [5]. В качестве теплоизоляционного слоя может служить древесная кора как в виде сыпучего наполнителя, так и в виде плитного или листового материала.

Плитные материалы на основе древесной коры наряду со своими преимуществами в виде улучшенных тепло- и звукоизоляционных свойств имеют и ряд недостатков, таких как пониженная прочность и твердость. Для устранения этих недостатков предлагается использование коры для изготовления внутреннего слоя многослойных древесных материалов. В качестве наружных слоев могут быть использованы более прочные и твердые древесные материалы.

В лабораторных условиях были получены трехслойные плоские плиты, наружные слои которых состоят древесноволокнистых плит средней плотности. Для изготовления таких многослойных плитных материалов отдельно производится изготовление каждого слоя. Сначала происходит прессование внутреннего слоя, а затем соединение его с наружными слоями одинакового формата.

Были изготовлены 2 типа таких многослойных древесных материалов. У первого типа плиты (рис. 1) средний слой состоит из спрессованной бересты, у второго (рис. 2) – из спрессованной сосновой коры и опилок, взятых в соотношении 1:1. На первом этапе изготавливали отдельно каждый слой, а на втором производили их

соединение между собой методом холодного прессования. Для прессования сосновой коры и опилок использовали клей на основе карбомидоформальдегидной смолы, а прессование производили в горячем прессе при температуре 160°C. Наружные слои склеивали клеем на основе поливинилацетатной дисперсии Kleiberit 303.2.



**Рис. 1 – Трехслойный древесный материал с наружными слоями из древесноволокнистой плиты и внутренним слоем из бересты**



**Рис. 2 – Трехслойный древесный материал с наружными слоями из древесноволокнистой плиты и внутренним слоем из плиты на основе сосновой коры и стружки**

Такие трехслойные плиты можно использовать как конструкционные материалы при изготовлении стен и перегородок, конструкционных звуко-, и теплоизоляционных плит и панелей.

#### **Список использованных источников**

1. Девятловская, А.Н. Утилизация древесной коры деревоперерабатывающих предприятий / А.Н. Девятловская, Л.Н. Журавлева, Н.В. Девятловский // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 27. – С. 51-54.

2. Ершова, А.С. Древесные пластики без связующих веществ с добавлением коры сосны / А.С. Ершова, А.В. Артёмов, А.В. Савиновских, В.Г. Бурындин // Сборник трудов Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Актуальные проблемы науки о полимерах». – Казань: КНИТУ. – 2020. – С. 113-114.

3. Федосенко, И.Г. Применение коры деревьев в производстве изолирующих и конструкционных плит / И.Г. Федосенко, И.И. Веретиков // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2020. – № 2 – С. 239-243.

4. Волынский, В. Переработка и использование древесной коры. // ЛесПромИнформ. – 2012. – № 2. – С. 168-170.

5. Федеральный институт промышленной собственности. - Режим доступа: <https://www1.fips.ru> (дата обращения 15.09.2021).

УДК 502.174.1

**А.А. Ковалева, П.С. Кулевец, С.В. Нестерова, Е.В. Опимах**  
Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Беларусь

### **ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА ЛАУРИЛСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ НА КРАЕВОЙ УГОЛ СМАЧИВАНИЯ АБС-ПЛАСТИКА**

*Аннотация.* Данная работа посвящена определению краевого угла смачивания акрилонитрил бутадиен стирола (АБС) ПАВ анионного типа лаурилсульфоната натрия. Обнаружено, что ПАВ проявляют высокую смачивающую способность на гидрофильной поверхности. Наибольшее смачивание достигается в точке критической концентрации лаурилсульфоната натрия, равной 0,04 г/дм<sup>3</sup>.

**A.A. Kavaliova, P.S. Kuliavets, S.V. Nesterova, E.V. Opimakh**  
Belarus State Techno logical University,  
Minsk, Belarus

### **THE EFFECT OF THE CONCENTRATION OF SODIUM LAURYL SULFONATE SOLUTION ON THE WETTING EDGE ANGLE OF ABS-PLASTIC**

*Abstract.* This work is devoted to determining the boundary wetting angle of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) surfactant of anionic type sodium lauryl sulfonate. Surfactants were found to exhibit high wetting ability on a hydrophilic surface. The greatest wetting is achieved at the critical concentration point of sodium lauryl sulfonate, equal to 0.04 g/dm<sup>3</sup>.

В настоящее время утилизация пластиковых отходов является наиболее важной задачей с точки зрения экологии. Большое количество

отходов утилизируется захоронением и сжиганием. Данные способы наносят ущерб окружающей среде.

Часто пластиковые отходы представляют собой смесь полимеров, что затрудняет дальнейшее использование в качестве вторичного сырья для производства различных изделий. Известно, что примеси оказывают сильное влияние на товарный вид и механические свойства полимерного изделия, что приводит к заметному ухудшению внешнего вида деталей, получаемых из отходов [1]. В связи с этим требуется разделение исходной смеси на компоненты по природе полимера.

В настоящее время при переработке полимеров, обладающих разными относительными плотностями, широко применяется флотационное разделение в ваннах для сепарации [1]. Для понимания процесса флотационного разделения полимерных материалов необходимо учитывать природу поверхностно-активных веществ и непосредственно самих пластмасс.

Одной из характеристик флотационного разделения полимерных материалов является краевой угол смачивания. Если угол смачивания ( $\Theta$ ) меньше  $90^\circ$ , то поверхность гидрофильная (олеофильная); больше  $90^\circ$  – поверхность гидрофобная (олеофобная); больше  $150^\circ$  – поверхность супергидрофобная (суперолеофобная).

Цель работы заключалась в определении угла смачивания акрилонитрил бутадиен стирола (АБС) раствором лаурилсульфоната натрия.

В качестве исследуемого материала при определении угла смачивания поверхности использовали АБС-пластик; в качестве анионного ПАВ раствор лаурилсульфоната натрия.

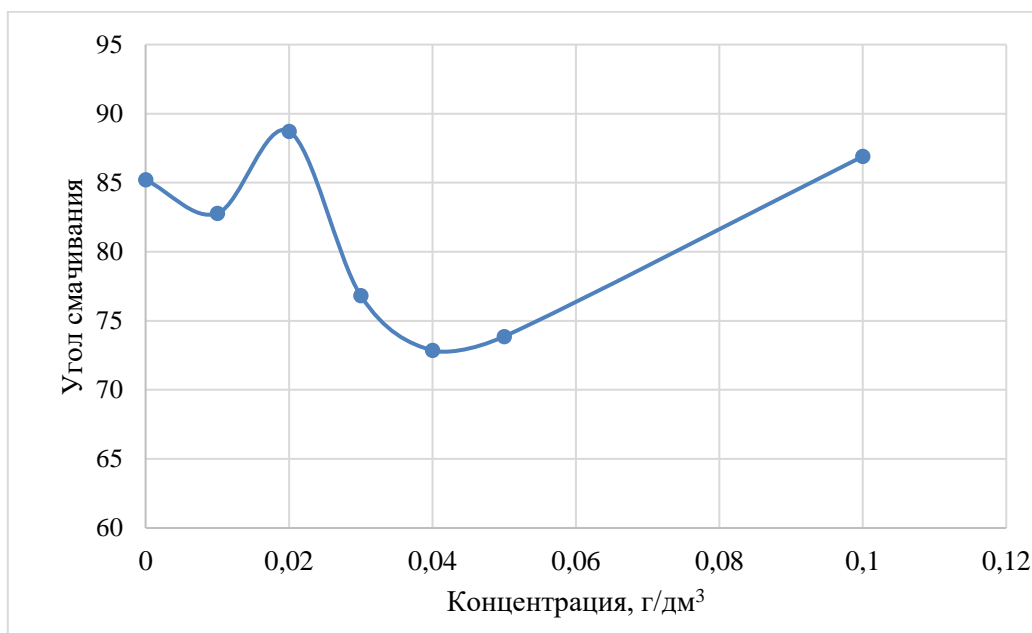
На поверхность АБС-пластика, предварительно обезжиренную этиловым спиртом, исследуемого образца при помощи пипет-дозатора наносили капли дистиллированной воды и растворов лаурилсульфонат натрия с концентрациями 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05 и 0,1 г/дм<sup>3</sup> объемом 5–10 мкл.

На рис.1 представлены краевые углы смачивания, исследуемого АБС-пластика, каплями воды и растворами ПАВ.

При нанесении капель дистиллированной воды угол смачивания составил  $85^\circ$ . Наиболее высокое значение краевого угла смачивания наблюдается при концентрации лаурилсульфоната натрия 0,02 г/дм<sup>3</sup> и составляет  $88^\circ$ ; наиболее низкое значение – при концентрации 0,04 г/дм<sup>3</sup> –  $73,5^\circ$ .

Стоит отметить, что одним из факторов, влияющих на результаты определения краевого угла смачивания, является исходная

шероховатость образца. Влияние данного фактора будет изучено в дальнейшем.



**Рис.1 – Зависимость краевого угла смачивания АБС-пластика от концентрации лаурилсульфоната натрия**

#### **Список использованных источников**

1. Опимах, Е. В. Флотационное извлечение полистирола / Е. В. Опимах // Полимер. материалы и технологии. – 2016. – т. 2, № 1. – с. 75–78.

УДК 547.913:615.281

**Н.А. Коваленко, Г.Н. Супиченко, Т.И. Ахрамович**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь

### **АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНОГО МАСЛА *PINUS STROBUS L.***

*Аннотация.* Представлены результаты газохроматографического анализа эфирного масла *Pinus strobes L.* из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси. Главными компонентами являются  $\alpha$ -пинен ( $\approx 23\%$ ),  $\beta$ -пинен ( $\approx 25\%$ ). Показана антимикробная активность эфирного масла относительно грамположительных и грамотрицательных бактерий.

**N.A. Kovalenko, G.N. Supichenko, T.I. Ahramovich**

Belarusian State Technological University

Minsk, Republic of Belarus

**ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OIL OF  
*PINUS STROBUS* L**

*Abstract. The results of gas chromatographic analysis of the essential oil of *Pinus strobus* L. from the collection of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus are presented. The dominant components are  $\alpha$ -pinene ( $\approx 23\%$ ),  $\beta$ -pinene ( $\approx 25\%$ ). The antimicrobial activity of essential oil against gram-positive and gram-negative bacteria is shown.*

В связи с появлением в последнее время микроорганизмов, устойчивых к большинству известных антибиотиков, актуальной является разработка новых эффективных и экологически безопасных фитопрепаратов, обладающих лечебным и лечебно-профилактическим действием. Известно, что высокую и разнообразную биологическую активность проявляют эфирные масла хвойных растений, которые благодаря своим противовоспалительным, ранозаживляющим, иммуномодулирующим свойствам могут служить сырьем для приготовления лекарственных средств бактериостатического действия.

Цель настоящей работы – изучение компонентного состава и антимикробных свойств эфирного масла *Pinus strobus* L. (сосны Веймутова) из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси.

Образцы эфирного масла были получены из свежесобранных охвоенных концов сосны Веймутова методом гидродистилляции.

Разделение компонентов эфирного масла выполняли на хроматографе «Цвет 800», оснащенном пламенно-ионизационным детектором и оборудованном капиллярной колонкой Cyclosil В длиной 30 м, внутренним диаметром 0,32 мм и неподвижной фазой  $\beta$ -циклодекстрин (0,25 мкм), в режиме программирования температуры в токе газа-носителя азота. Линейная скорость газа-носителя 30 см/с, величина сброса 1:50. Идентификацию компонентов эфирных масел проводили сравнением времен удерживания идентифицируемых пиков с временами удерживания стандартных образцов. Количественные определения проводили методом внутренней нормализации по площадям газохроматографических пиков без использования корректирующих коэффициентов.

Антибактериальную активность определяли методом диффузии растворов эфирного масла в агар (метод бумажных дисков) по методике [1–3]. В качестве тест-культур использовали санитарно-



показательные микроорганизмы: *Staphylococcus aureus*, *Salmonella alony*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium* sp., *Escherichia coli* Hfr H, *Pseudomonas aeruginosa*.

Минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) эфирного масла *Pinus strobus* L. определяли методом серийных разведений антимикробных агентов в жидкой среде. Путем разведения растворов препаратов получали различные действующие концентрации эфирного масла (5%–0,05%) в культуральных жидкостях (исходное содержание клеток ~10<sup>4</sup> КОЕ/мл). Инкубировали посеvy при 30°C в течение 24 ч. Затем визуально определяли наличие мутности в каждой из пробирок. Выбирали ту из них, которая содержала прозрачную суспензию и наименьшую концентрацию антимикробного агента. Эта концентрация соответствовала МИК. Результаты усредняли по данным двух экспериментов.

Исследования показали (таблица 1), что этанольные растворы эфирного масла *Pinus strobus* L. в изученном интервале концентраций (0,05–5%) оказывают бактериостатическое действие на рост всех тестируемых микроорганизмов. Повышение концентрации усиливает антимикробную активность.

**Таблица 1 – Антимикробная активность растворов эфирного масла *Pinus strobus* L.**

Тест-культуры бактерий	Концентрация эфирного масла в этаноле, %			МИК, %
	0,05	0,5	5,0	
	Диаметр зоны ингибирования роста, мм			
<i>Staphylococcus aureus</i>	10,6	12,2	19,5	0,1
<i>Salmonella alony</i>	6,5	8,7	16,0	0,2
<i>Bacillus subtilis</i>	8,4	10,3	17,4	0,1
<i>Clostridium</i> sp.	10,3	12,5	19,8	0,1
<i>Escherichia coli</i> Hfr H.	7,2	9,2	16,5	0,1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	7,0	9,1	16,7	0,2

Наиболее чувствительным к эфирному маслу оказались тест-культуры *Staphylococcus aureus* и *Clostridium* sp. Наименее подвержены

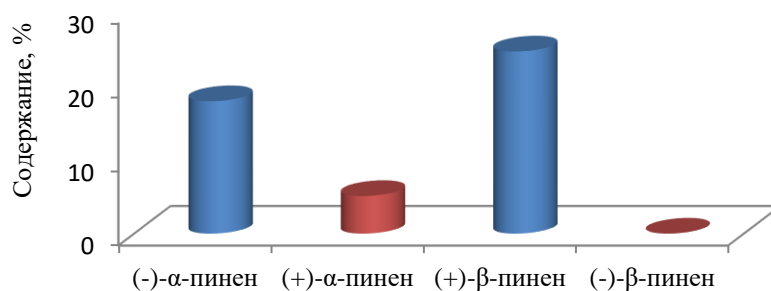
антимикробному влиянию бактерии *Pseudomonas aeruginosa* и *Salmonella alony*.

В целом, грамположительные микроорганизмы оказались по суммарным показателям более устойчивы, чем грамотрицательные тест-культуры.

Для объяснения антимикробных свойств эфирного масла сосны Веймутова, необходимо было выяснить компонентный состав и характер распределения энантиомеров его основных компонентов.

Отличительной чертой эфирного масла сосен является высокое содержание пиненов. По данным газожидкостной хроматографии основной вклад в компонентный состав исследованного эфирного масла вносят пинены, суммарное содержание которых составляет  $\approx 50\%$ . Концентрация  $\alpha$ -пинена составляет  $\approx 23\%$ , а  $\beta$ -пинена –  $\approx 25\%$ .

Характер распределения энантиомеров  $\alpha$ - и  $\beta$ -пиненов в эфирном масле сосны Веймутова представлен на рис. 1.



**Рис. 1 – Распределение энантиомеров  $\alpha$ - и  $\beta$ -пиненов в эфирном масле *Pinus strobes* L.**

Из представленных на рис.1 данных видно, что эфирное масло сосны Веймутова является оптически чистым по (+)- $\beta$ -пинену. В масле преобладает (-)-форма  $\alpha$ -пинена, энантиомерный избыток которой составляет  $\approx 56\%$ .

Анализ литературных данных [1–5] показывает, что оптические изомеры терпеновых соединений, входящие в состав эфирных масел, проявляют разную антимикробную активность. В этой связи были изучены антимикробные свойства стандартных образцов энантиомеров  $\alpha$ -пинена и  $\beta$ -пинена.

Результаты скрининга антимикробной активности 20%-ных этанольных растворов оптических изомеров пиненов, входящих в состав эфирного масла сосны Веймутова приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Антимикробная активность энантиомеров  $\alpha$ - и  $\beta$ -пиненов**

Тест-культуры бактерий	Диаметр зоны ингибирования роста, мм			
	(+)	(-)	(+)	(-)
	$\alpha$ -пинен	$\alpha$ -пинен	$\beta$ -пинен	$\beta$ -пинен
<i>Staphylococcus aureus</i>	7,2	10,8	8,3	4,2
<i>Salmonella alony</i>	11,5	16,1	12,9	8,6
<i>Bacillus subtilis</i>	15,6	21,4	16,4	11,7
<i>Clostridium</i> sp.	17,7	24,3	18,9	14,5
<i>Escherichia coli</i> Hfr H.	12,1	18,4	14,5	10,1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8,3	12,1	10,5	6,6

Сравнение полученных данных показывает, что антимикробные свойства эфирного масла сосны Веймутова обусловлены компонентным и энантиомерным составом. Следует отметить, что бактериостатический эффект обусловлен суммарным действием как макро-, так и микрокомпонентов, входящих в его состав. Так, при гораздо меньшей концентрации (5,0 %) эфирное масло обладает более выраженной антимикробной активностью по сравнению с 20%-ными растворами его главных компонентов.

#### **Список использованных источников**

1. Коваленко, Н.А. Антибактериальная активность эфирного масла *Agastache aurantiaca* / Н.А. Коваленко, Г.Н. Супиченко, Т.И. Ахрамович, А.Г. Шутова, В.Н. Леонтьев // *Химия растительного сырья*. – 2018. – № 2. – С. 63-70.
2. Коваленко, Н.А. Антибактериальная активность эфирных масел иссопа лекарственного / Н.А. Коваленко, Т.И. Ахрамович, Г.Н. Супиченко, Т.В. Сачивко, В.Н. Босак // *Химия растительного сырья*. – 2019. – № 1. – С. 191-199.
3. Коваленко Н.А., Леонтьев В.Н., Супиченко Г.Н., Ахрамович Т.И., Шутова А.Г. Антимикробные свойства эфирного масла растений рода *Monarda*, культивируемых в Беларуси // *Химия растительного сырья* – 2021. – № 2. – С. 137-144.
4. Loziene, K. Influence of plant origin natural  $\alpha$ -pinene with different enantiomeric composition on bacteria, yeasts and fungi / K. Loziene [et al.] // *Fitoterapia*. – 2018. – № 127. – P. 20-24.

5. Rivas da Silva, A.C. Biological Activities of  $\alpha$ -Pinene and  $\beta$ -Pinene Enantiomers / A.C. Rivas da Silva [et al.] // *Molecules* – 2012. – № 17. – P. 6305-6316.

УДК 541.15:543.476

**А.М. Колос**  
Международный государственный экологический  
институт имени А.Д. Сахарова  
Белорусского государственного университета  
Минск, Беларусь

### **СОСТАВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ЭКСТРАКТОВ *Achillea millefolium* L. В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ.**

*Аннотация.* В работе описаны результаты исследований свойств и состава БАВ в водно-спиртовых вытяжках тысячелистника обыкновенного, произрастающего в естественных условиях на территории Беларуси. Выявлен оптимальный состав смесей и длительность экстракции, концентрации спирта в экстрагирующей смеси. Установлено наличие антимикробных свойств фитоэкстракта к *E. coli* и *Rhizopus stolonifera*.

*Ключевые слова.* Фитоэкстракты, флавоноиды, фенольные кислоты, антимикробные свойства, антиоксидантная активность.

**Kolos A.M.**  
International State Ecological  
Institute named after A.D. Sakharov  
Of the Belarusian State University  
Minsk, Belarus

### **COMPOSITION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF EXTRACTS *Achillea millefolium* L. UNDER NATURAL CONDITIONS OF GROWTH.**

*Abstract.* The paper describes the results of studies of the properties and composition of biologically active substances in aqueous-alcoholic extracts of common yarrow growing in natural conditions on the territory of Belarus. The optimal composition of the mixtures and the duration of the extraction, the concentration of alcohol in the extracting mixture have been revealed. The presence of antimicrobial properties of the phytoextract to *E. coli* and *Rhizopus stolonifera* was established.

*Keywords.* Phytoextracts, flavonoids, phenolic acids, antimicrobial properties, antioxidant activity.

**Введение.** Важной задачей отечественных исследований в области биохимии, является налаживание в стране производства медицинских и косметологических препаратов, а также БАДов на основе сырья отечественного производства.

Большая часть населения крупных городов не получает с пищей нужного объема микронутриентов. В литературных источниках имеются необходимые суточные нормы потребления отдельных минорных биологически активных веществ (БАВ) растительного происхождения [1–2].

Источником физиологически активных микронутриентов могут служить экстракты, полученные на основе сухих и свежих частей *Achillea millefolium* L. произрастающего на территории Беларуси повсеместно. Данные экстракты являются композицией БАВ натурального происхождения и могут употребляться вместе с пищей, а также в качестве добавки к пищевым продуктам для обогащения их компонентами.

Рядом авторов описываются оздоровительные и общеукрепляющие свойства фито экстрактов и рекомендации их применения для профилактики заболеваний [3–4]. С целью сохранения химического состава и биологической активности растений, стабилизации биологически активных веществ применяют их высушивание и экстракция БАВ из измельченного, сухого сырья. Антиоксидантные свойства веществ природного происхождения являются существенным аспектом их физиологической активности [5–8].

Общий антиоксидантный эффект БАВ в растительных экстрактах оценивают по наличию различных форм природных веществ и их общим действием на формирование окислительно-восстановительных систем и синергетических циклов.

Флавоноиды являются одним из основных растительных компонентов, проявляющих антиоксидантную активность и способны процессы свободного окисления [7].

Таким образом актуальными являются исследования состава и свойств БАВ водно-спиртовых экстрактов *Achillea millefolium* L. произрастающего на территории Республики Беларусь.

**1. Объекты и методика исследований.** Объектом исследований служили водно-спиртовые экстракты наземных частей *Achillea millefolium* L., заготовленные на коллекционном участке Центрального ботанического сада НАН Беларуси, произрастающие в естественной среде в фазе цветения в 2021 г. Водно-спиртовые

экстракты получали по общепринятым методикам из наземных частей (трава, цветки, листья) [9].

Исследовались антиоксидантные и антимикробные параметры экстрактов. Бактерицидные свойства определяли методом колодцев при высеве тест-культур на чашки с мясопептонным агаром и культивировали на протяжении 24 часов при температуре 37°C.

**Результаты и обсуждение.** Из всех БАВ в водно-спиртовых растворах наибольший интерес представляют компоненты с Р-витаминной активностью, экстракции мономерных и олигомерных форм фенольных соединений: фенольные кислоты, флавоноиды, дубильные вещества. Значимость данных веществ обусловлена часто отмечаемой корреляцией Р-витаминной активности с антиоксидантным потенциалом фитоэкстрактов.

Как видно из материалов, представленных в таблице 1, суммарное содержание флавонолов и дубильных веществ в экстракте тысячелистника обыкновенного составляет 15,5 мг/г. Содержание БАВ в растительном сырье связано с климатическими условиями периода вегетации и зачастую варьирует.

**Таблица 1 – Концентрация, идентифицированных фенольных соединений в фитоэкстрактах наземной части *Achillea millefolium* L. (M±m)**

Флавонолы, мг/г	Дубильные вещества, мг/г	Растворимые углеводы, %	L-Аскорбиновая кислота, мг/г	Органические кислоты, %	Экстрактивные вещества
8,4±0,3	7,1±0,2	19,7±0,6	1,29±0,05	0,35±0,03	0,22±0,04

В таблице 2 представлены данные количественного анализа установленных фенольных соединений входящих в состав экстрактов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [9].

В экстракте тысячелистника была выявлена хлорогеновая кислота, которая встречается в растительных экстрактах достаточно редко и играет роль в метаболизме организма человека.

**Таблица 2 – Концентрация биологически активных веществ в водно-спиртовых экстрактах наземной части *Achillea millefolium* L. (мг/г)**

Рутин	Гесперидин	Кверцетин	Апигенин	Хлорогеновая кислота	Феруловая кислота
1,29±0,05	30,69±1,54	0,49±0,03	0,45±0,03	3,10±0,14	0,73±0,02

Таким образом, исследования антиоксидантных свойств экстрактов тысячелистника обыкновенного показали, что он

проявляет антиоксидантный эффект. Суммарная антиоксидантная активность составила 159 мг/мл. Упомянутый результат согласуется с количественным анализом флавоноидов в фитоэкстракте.

В таблице 3 представлены исследования бактериостатических свойств экстракта тысячелистника обыкновенного по отношению к *E. coli*, *S. aureus*, *Rhizopus stolonifera* в мясопептонном агаре. Наибольшим антимикробным действием фитоэкстракт тысячелистника обыкновенного обладает по отношению к *E. coli* и *Rhizopus stolonifera*, при этом практически не угнетает рост *S. aureus*.

**Таблица 3 – Бактериологические свойства фитоэкстракта *Achillea millefolium* L.**

<i>E. Coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>Rhizopus stolonifer</i>
15,9±0,4	–	9,9±0,6

**Заключение.** Результаты исследований свойств и состава биологически активных веществ водно-спиртовых экстрактов водно-спиртовых экстрактов надземной части тысячелистника обыкновенного показали эффективность экстрагирования фенольных соединений из сухого сырья. Добавление фитоэкстрактов в состав продуктов питания восполнит дефицит флавоноидов в рационе питания населения. Установлено, что экстракт тысячелистника обыкновенного угнетают рост *E. coli* и *Rhizopus stolonifera*, способствуя продлению срока хранения пищевых продуктов.

#### **Список использованных источников**

1. Спиричев В.Б., Шатнюк Л.Н. Обогащение пищевых продуктов микронутриентами: современные медико-биологические аспекты // Пищ. Пром-сть. – 2000. – № 7., С. 98–100.
2. Шатнюк, Л.Н. Пищевые микроингредиенты в создании продуктов здорового питания// Пищевые ингредиенты, сырье и добавки. – 2005. – № 2. С. 188–220.
3. Пупыкина К.А. Исследования по разработке и стандартизации лекарственных растительных средств для профилактики и комплексного лечения заболеваний органов: автореф. дис. ... канд. техн. Наук. М. – 2008. С. 51 с.
4. Толкунова Н.Н. Исследование химического состава растительных экстрактов // Мясная индустрия. 2003. – № 12 С. 30-31.

5. Медведев Ю.В., Толстой А.Д., Гипоксия и свободные радикалы в развитии патологических состояний организма. М. : Терра-Календер и Промоушн. – 2000. – 232 с.
6. Pietta P.G. Flavonoids as antioxidants // J. Nat. Prod. – 2000. Vol. 63, № 7. – P. 1035–1042.
7. Базарнова Ю.Г., Веретнов Б.Я. Ингибирование радикального окисления пищевых жиров природными флавоноидными антиоксидантами // Вопр. питания. – 2004. – № 3. С. 35–42.
8. Methods of Analysis of Food Components and Additives. 2<sup>nd</sup> ed. / ed. Semih Otles. Boca Raton : Taylor and Francis Group. – 2012. – 513 p.
9. Тарун Е.И. Антиоксидантная активность экстрактов цветов и листьев тысячелистника / Е.И. Тарун, А.Н. Кухта, А.А. Небокаткина, В.П. Курченко // Экология. № 3. – Минск. – С. 57–65.

УДК 666.266.61

**П.С. Ларионов, Ю.Г. Павлюкевич, И.В. Каврус**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь

## **ПИРОКСЕНОВЫЙ ТВЕРДЫЙ РАСТВОР ТИПА АВГИТА В СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ**

*Аннотация.* Представлены результаты изучения особенностей кристаллизации и формирования структуры пироксенового твердого раствора типа авгита в стеклокерамических материалах, полученных на основе гранитоидных отсевов Микашевичского месторождения. Приведено влияние структуры стеклокерамического материала на его механическую прочность.

**P.S. Laryionau, Yu.G. Pauliukevich, I.V. Kavrus**  
Belarusian state technological university  
Minsk, Republic of Belarus

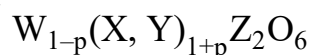
## **PYROXENE SOLID SOLUTION OF THE AUGITE TYPE IN GLASS-CERAMIC MATERIALS**

*Abstract.* The results of studying the features of crystallization and formation of the structure of a pyroxene solid solution of the augite type in glass-ceramic materials obtained on the basis of granitoid screenings of the Mikashevichskoye deposit are



*presented. The influence of the structure of glass-ceramic material on its mechanical strength is given.*

Пироксены представляют широкую группу минералов цепочечной структуры. Для всех пироксенов характерно взаимное замещение ионов с образованием ряда непрерывных твердых растворов. Основной пироксенов является диопсид  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ , в котором происходят изоморфные замещения, подчиняющиеся общей структурной формуле пироксенов:



где W – Ca, Na;

X – Mg,  $\text{Fe}^{2+}$ , Mn, Ni, Li;

Y – Al,  $\text{Fe}^{3+}$ , Cr, Ti;

Z – Si, Al.

Ввиду широкого изоморфизма пироксеновых пород с образованием непрерывного ряда твердых растворов свойства данного материала возможно регулировать за счет корректировки химического состава исходного стекла, что позволяет обеспечивать высокие прочностные характеристики и химическую устойчивость стеклокерамики.

Пироксеновые стеклокерамические материалы могут быть получены на основе природного сырья (базальты, диабазы, туфы, и др.), отсевов дробления или обогащения горных пород (гранитоидные отсевы и др.) и техногенного сырья (металлургические шлаки, золы и др.).

При использовании в качестве основного сырьевого компонента для синтеза стеклокерамических материалов гранитоидных отсевов Микашевичского месторождения в качестве основной кристаллической фазы выделяется пироксеновый твердый раствор типа авгита.

Исследования структуры стеклокерамики выполнены при помощи сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония).

Исследованная стеклокерамика характеризуется плотной мелкокристаллической структурой и представлена значительным количеством сростков кристаллов пироксенового твердого раствора типа авгита в форме сфер размером 10–50 мкм (рис. 1).

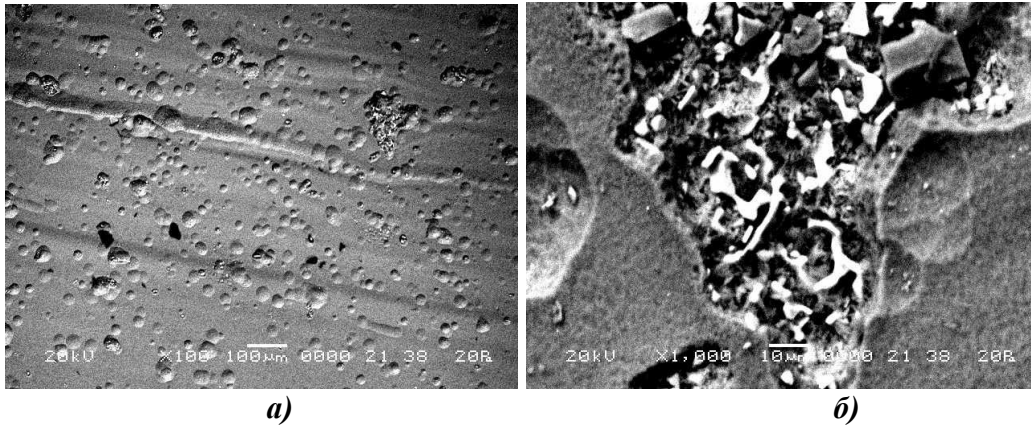


Рис. 1 – Электронно-микроскопические снимки стеклокерамики при увеличении  $\times 100$  (а) и  $\times 1000$  (б)

В результате изоморфных замещений, протекающих в твердом растворе диопсид–авгит, происходят существенные изменения в кристаллической решетке материала (рис. 2).

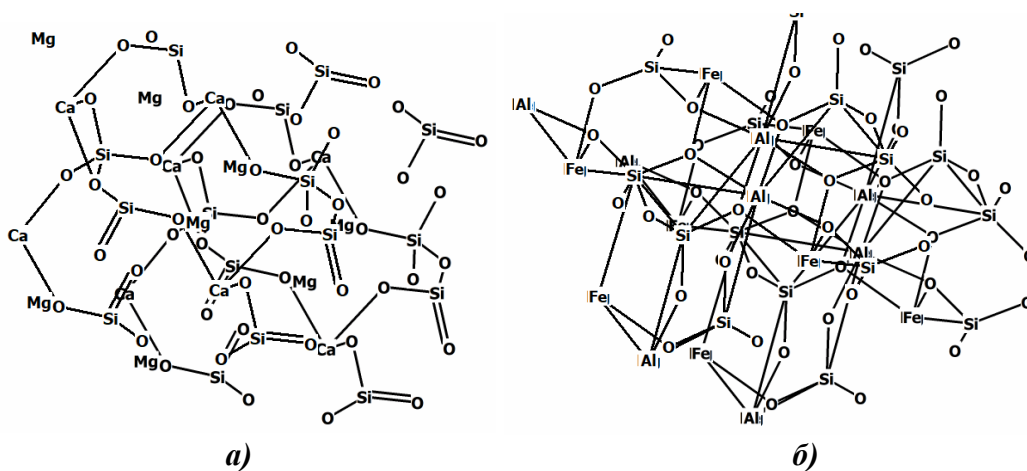


Рис. 2 – Кристаллические решетки диопсида [1] (а) и авгита [2] (б)

В диопсиде выделяется структурный мотив Si–O–Ca–O. В ряду диопсид–авгит наблюдаются изоморфные замещения Ca на Na и Fe, Mg на Fe и Al, Si на Ti, что приводит к увеличению объема кристаллической решетки с 435,5 Å для диопсида до 443,5 Å для авгита, характеризующегося формулой  $(\text{Ca}_{0,39-0,58}\text{Na}_{0,28-0,57}\text{Fe}_{0-0,20})(\text{Mg}_{0,09-0,38}\text{Ca}_{0-0,09}\text{Fe}_{0,03-0,23}\text{Al}_{0,59})(\text{Si}_{1,98}\text{Ti}_{0,02})\text{O}_6$ . Кроме увеличения объема кристаллической решетки происходит снижение длин связей Ca–O, Mg–O, Si–O и увеличение их количества.

В структурный мотив Si–O–Ca–O при наблюдаемых изоморфных замещениях в ряду диопсид–авгит встраиваются Na, Mg, Fe, Al, Ti, что приводит к появлению дополнительного структурного мотива Si(Ti)–O–Mg(Fe, Al)–O–Ca(Na, Fe)–O. Представленные особенности

структуры и кристаллической решетки пироксенового твердого раствора типа авгита обеспечивают высокие физико-химические характеристики стеклокерамического материала.

Синтезированная на основе гранитоидных отсеков стеклокерамика обладает следующими механическими характеристиками: механическая прочность при сжатии – 550 МПа; механическая прочность при изгибе – 200 МПа; модуль упругости – 80000 МПа. Такой уровень свойств достигается за счет образования мономинерального состава, представленного пироксеновым твердым раствором типа авгита, а также особенностей его кристаллизации, заключающейся в образовании значительного количества сферических сростков кристаллов авгита. Кроме того, повышенные механические характеристики синтезированного материала обусловлены изменениями в кристаллической решетке уменьшением длин связей и увеличением их количеств, которые происходят в результате изоморфных замещений в ряду диопсид–авгит.

По уровню механических свойств синтезированный стеклокерамический материал может быть использован в качестве высокопрочных пропантов, применяемых для интенсификации нефте- и газодобычи методом гидравлического разрыва пласта.

#### **Список использованных источников**

1. Warren, B. The structure of diopside,  $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$  / B. Warren, W.L. Bragg // Zeitschrift fuer Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie. – 1928. – Vol. 69. – P. 168–193.
2. Clark, J.R. Crystal-Chemical Characterization of Clinopyroxenes based on Eight New Structure Refinements / J.R. Clark, D.E. Appleman, J.J. Papike // Mineralogical Society of America: Special Papers. – 1969. – Vol. 2. – P. 31–50.

УДК 666.3-13

**И.А. Левицкий, О.В. Кичкайло**

Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

### **ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ЛИТИЙАЛЮМОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКЕ**

*Аннотация.* Методом дифференциально-сканирующей калориметрии изучены особенности процессов фазообразования керамических материалов на

основе системы  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , модифицированных добавками электрокорунда, серпентинита, кремнеземного стекловолокна и оксида хрома (III).

**I.A. Levitskii, O.V. Kichkailo**  
Belarusian State Technological University,  
Minsk, Belarus

## **INFLUENCE OF MODIFIERS ON PHASE TRANSITIONS IN LITHIUM ALUMINUM SILICATE CERAMICS**

*Abstract. The method of differential scanning calorimetry was used to study the features of the processes of phase formation of ceramic materials based on the  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  system, modified with the addition of electrocorundum, serpentinite, silica glass fiber, and chromium oxide (III).*

Целенаправленный синтез термостойких материалов и разработка технологии их получения не могут осуществляться без идентификации образующихся фаз. Увеличение количества тех или иных кристаллических фаз в керамических материалах, их сочетание со стекловидными и газовыми составляющими, распределение в структуре в значительной степени определяют свойства изделий.

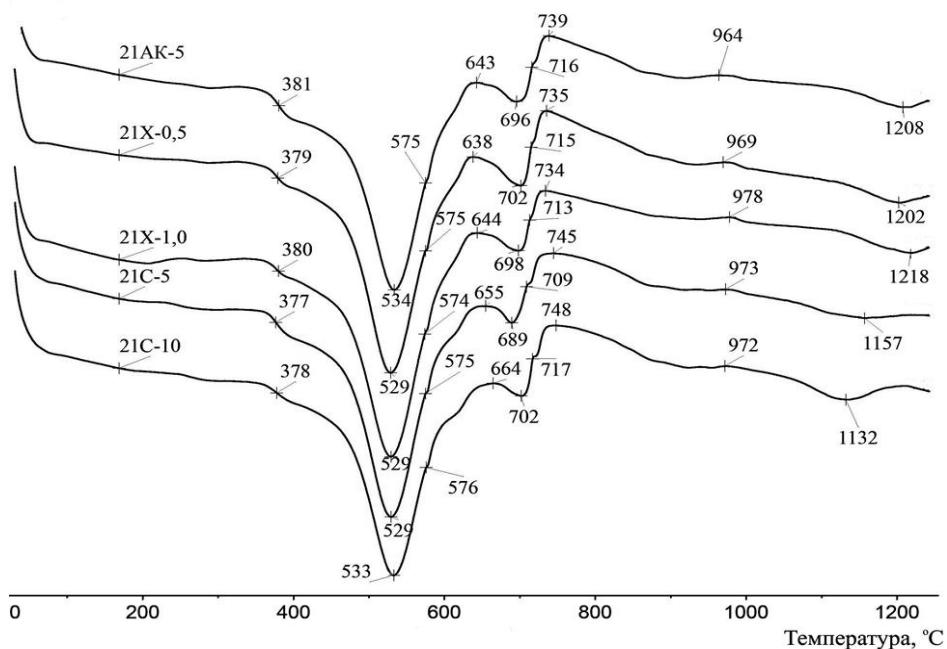
Кроме этого, на свойства керамических изделий оказывают влияние характер фазовых превращений, последовательность образования кристаллических фаз, а также источники их образования.

Сведения о структуро- и фазообразовании в керамике можно получить при исследовании явлений, происходящих в керамических массах при их термообработке. При обжиге в керамических материалах происходят разнообразные физико-химические превращения (разложение исходных сырьевых компонентов; химическое взаимодействие; процессы при контакте зерен смеси в присутствии расплава; процессы растворения твердых частиц в жидкой фазе; образование новых кристаллических соединений и др.), сопровождающиеся в характерных температурных интервалах тепловыми эффектами и массообменными процессами различной природы.

С целью изучения тепловых эффектов и выявления температурных характеристик в области возникновения фазовых и химических превращений, происходящих в керамических массах исходного и модифицированных литийалюмосиликатных материалов [1–3], исследовалось их поведение при нагревании с помощью метода дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК). Термический анализ осуществлялся на дифференциально-сканирующем калориметре DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsh

(Германия) в интервале температур 30–1250 °С в среде аргона в платиновых тиглях при скорости нагрева 10 °С/мин.

На рис. 1 приведены кривые ДСК масс исходного состава 21АК-5 и с добавками 0,5 и 1 %<sup>1</sup> Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (составы 21Х-0,5 и 21Х-1,0); 5 и 10 % серпентинита (составы 21С-5 и 21С-10), из которых видно, что для исследуемых сырьевых композиций характерна близость термических эффектов.



**Рис. 1 – Кривые ДСК масс исходного состава и с добавками: 0,5 и 1 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (21Х-0,5 и 21Х-1,0); 5 и 10 % серпентинита (21С-5 и 21С-10)**

При нагревании керамической массы исходного состава 21АК-5 [1] отмечается эндотермический эффект при 60–70 °С, связанный с удалением сорбированной воды из глинистых материалов (глины огнеупорной и каолина). Двойной эндотермический эффект с минимумами при 375–410 °С и 530–535 °С обусловлен выделением конституционной воды и разрушением кристаллической решетки каолинита. Значительная площадь эндотермического эффекта и его глубина свидетельствует о довольно интенсивном протекании указанных процессов. При 575 °С отмечается небольшой эндоэффект, обусловленный модификационным переходом кварца. Эндотермические двухступенчатые эффекты при 680–705 и 710–720 °С обусловлены, по нашему мнению, плавлением входящего в состав масс карбоната лития с последующим его разложением. Экзотермический эффект при 955–970 °С связан с процессами формирования

\* – здесь и далее по тексту приведено массовое содержание.

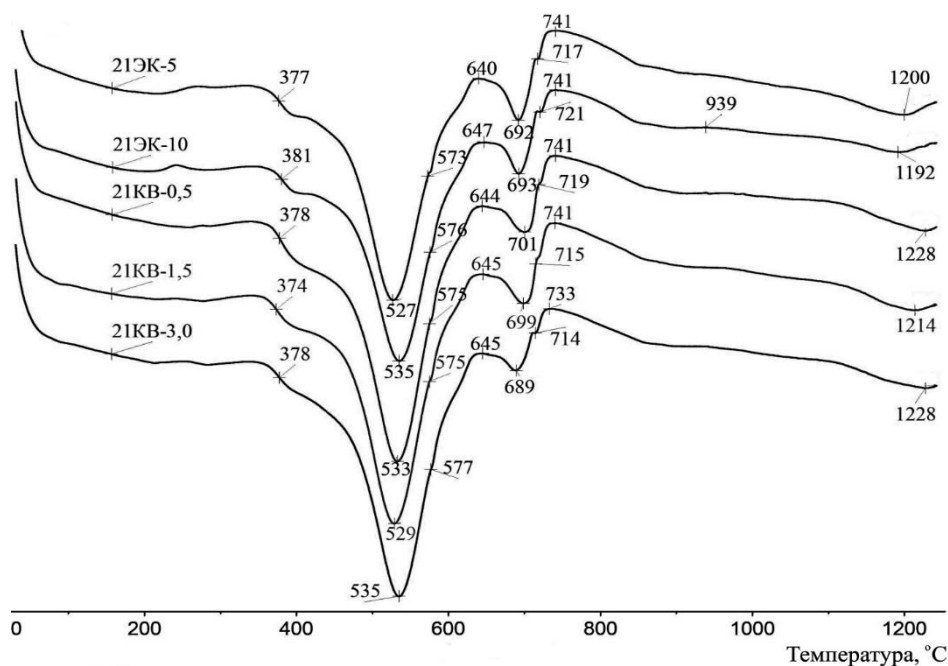
литийалюмосиликатных кристаллических фаз, а эндоэффект при с минимумом при 1208 °С вызван плавлением составляющих компонентов керамических масс.

При введении в рецептуру исходного состава 0,5 и 1 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  эндоэффекты, связанные с выделением сорбированной влаги из массы, не изменяются, а процессы удаления конституционной воды сдвигаются в сторону меньших температур и составляют 529 °С вместо 534 °С у исходного состава. Несколько изменяются температуры эндоэффектов, обусловленных плавлением карбоната лития и его разложением, и составляют 702 и 698 °С и 715 и 713 °С соответственно против 696 °С и 716 °С у исходного состава. Повышение содержания в составах масс оксида хрома до 1 % приводит увеличению температуры образования кристаллических фаз с 964 °С до 978 °С. Процессы плавления при этом также сдвигаются в область более высоких температур до 1218 °С по сравнению с исходной массой.

При исследовании влияния добавок серпентинита, вводимых в количестве 5 и 10 %, установлено увеличение температур плавления и разложения карбоната лития от 696 и 716 °С у исходной массы до 689 и 702 °С, а также до 709 и 717 °С при введении 5 и 10 % серпентинита соответственно. Температура процесса кристаллизации литийсодержащих фаз также возрастает от 964 °С у исходной массы до 973 и 972 °С соответственно указанному выше количеству добавок серпентинита. Процесс плавления составляющих массы при введении 5 и 10 % серпентинита существенно снижается и составляет 1157 и 1132 °С соответственно по сравнению с 1208 °С у исходного состава. Это позволяет сделать вывод, что введение серпентинита обеспечивает флюсующее действие в составах исследованной литийсодержащей керамики.

Анализ данных рис. 2 показывает, что при введении электрокорунда в количестве 5 и 10 % (составы 21ЭК-5 и 21ЭК-10) температуры эндоэффектов, связанных с дегидратацией глинистых материалов, практически не изменяются. Так, потеря гидратной влаги глинистых минералов с частичной аморфизацией вещества отмечается при температуре 377 и 381 °С соответственно (у исходного состава – 381 °С). Потеря химически связанной воды фиксируется эндоэффектом при 527 и 535 °С. Плавление карбоната лития наблюдается при 692 и 693 °С (696 °С – для исходной массы), а разложение – при 717 и 721 °С против 716 °С у исходного состава. Характерные для выше рассмотренных масс процессы кристаллизации для составов, содержащих электрокорунд, не фиксируются. Что касается плавления составляющих этих масс, то он смещается в сторону более низких

температур и составляет 1200 и 1192 °С соответственно при добавке 5 и 10 % электрокорунда по сравнению с 1208 °С у исходной массы.



**Рис. 2 – Кривые ДСК масс составов с добавками: 5 и 10 % электрокорунда (21ЭК-5 и 21ЭК-10); 0,5; 1,5 и 3 % кремнеземного стекловолокна (21КВ-0,5; 21КВ-1,5 и 21КВ-3)**

Введение кремнеземного волокна в состав литийалюмосиликатных керамических масс также изменяет характер тепловых эффектов. Потеря химически связанной воды глинистых составляющих у этих масс происходит соответственно количеству введенного кремнеземного стекловолокна (составы 21КВ-0,5; 21КВ-1,5 и 21КВ-3; рисунок 2) и составляет 378, 374 и 378 °С соответственно, против 381 °С у исходной массы. Глубокий эндоэффект дегидратации каолинита отмечается у исследованных масс при следующих значениях соответственно: 533, 529 и 535 °С при введении 0,5 %, 1 и 3 % стекловолокна. Для исходного состава эта температура составляет 534 °С. Декарбонизация  $Li_2CO_3$  приходится соответственно на 701, 699 и 689 °С (у исходной массы – 696 °С), то есть температуры эндоэффектов несколько снижаются. Неглубокий эндоэффект при 719, 715 и 714 °С для масс, содержащих указанные выше количества добавок кремнеземного волокна соответственно, против 716 °С у исходной массы, также показывает снижение данной температуры, обусловленной дегидратацией карбоната лития. Для образцов, содержащих кремнеземное стекловолокно, экзотермический эффект

кристаллизации не регистрируются. Что же касается плавления компонентов исследованных масс, то этот эндоэффект составляет 1228 °С (содержание 0,5 % стекловолокна), 1214 °С (1 % стекловолокна) и 1228 °С (3 % стекловолокна) против 1208 °С у исходной массы. Это свидетельствует о повышении температуры плавления шихт с введением кремнеземного стекловолокна, имеющего более высокую температуру формирования расплава.

#### **Список использованных источников**

1. Кичкайло, О. В. Интенсификация спекания термостойкой керамики на основе системы  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  / О. В. Кичкайло, И. А. Левицкий // Огнеупоры и техническая керамика. – 2015. – № 10. – С. 3–13.

2. Левицкий, И. А. Исследование физико-химических свойств модифицированной керамики на основе системы  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  / И. А. Левицкий, О. В. Кичкайло, А. И. Тригубович // Огнеупоры и техническая керамика. – 2021. – № 11–12. – С. 26–34.

3. Кичкайло, О. В. Получение термостойких керамических материалов в системе  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  / О. В. Кичкайло, И. А. Левицкий // Огнеупоры и техническая керамика. – 2013. – № 11–12. – С. 50–60.

УДК 666.295.3

**И.А. Левицкий, И.О. Пунько**

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Республика Беларусь

### **ТИТАНОСОДЕРЖАЩИЕ ГЛАЗУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПОВЫШЕННОЙ БЕЛИЗНЫ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА**

*Аннотация.* Приведены результаты синтеза белой износостойкой титаносодержащей полуфриттованной глазури для керамогранита. Глушение покрытия обеспечено за счет формирования в его структуре кристаллических образований сфена и анортита. Температура обжига покрытий составляла  $1200 \pm 3$  °С, продолжительность –  $60 \pm 2$  мин.



## HIGH WHITENESS TITANIUM-CONTAINING GLAZE COATINGS FOR PORCELAIN TILES

*Abstract.* The results of the white wear-resistant titanium-containing semi-fritted glaze synthesis for porcelain tiles are presented. The opacity of the coating is provided due to the formation of crystalline formations of sphene and anorthite in its structure. The firing temperature of the coatings was  $1200 \pm 3$  °C for  $60 \pm 2$  min.

Глазурь представляет собой стекловидное покрытие на поверхности керамического изделия, которое выполняет как декоративную, так и санитарно-гигиеническую функцию.

Для глазурования плиток для керамогранита получили широкое применение полуфриттованные глазури, содержащие в своем составе кроме сырьевых компонентов от 30 до 50 мас.% фритты.

Диоксид титана известен как один из наиболее сильных глушителей, который улучшает блеск и резко повышает химическую устойчивость покрытия. Высокий показатель преломления  $\text{TiO}_2$  (2,52–2,76) делает его ценным материалом для глушения глазури, а высокая кислотоупорность диоксида титана определяет его применение в составах глазурей. Природа оксидов щелочных металлов оказывает заметное влияние на глушение титановых покрытий. Оксид алюминия стабилизирует титаносодержащие глазурные покрытия, увеличивает химическую и термическую устойчивость, способствуя их глушению. Оксид  $\text{TiO}_2$  для глазурей чаще всего изменяет окраску глазурного покрытия от белого до цвета слоновой кости и светло-желтого. Окраска обусловлена выделяющейся в процессе обжига кристаллической фазой рутила [1].

Диоксид титана, вводимый в состав глазури в виде рутила  $\text{TiO}_2$ , содействует кристаллизации. Диоксид титана активно взаимодействует с кремнеземом и оксидами щелочных металлов, способствуя образованию стекловидной фазы.  $\text{TiO}_2$  плавится при температуре около 1800 °C. Замещая  $\text{SiO}_2$  в глазурях,  $\text{TiO}_2$  делает их более тугоплавкими. Диоксид титана очень чувствителен к изменению газовой среды, в присутствии восстановительных агентов он легко восстанавливается до синего цвета [2].

Целью данного исследования являлось формирование кристаллической фазы в виде сфена  $\text{CaOTiO}_2[\text{SiO}_4]$ , который обеспечивает высокую степень белизны синтезированных покрытий.

Сырьевые композиции, применяемые нами в исследованиях при получении полуфриттованных глазурей, включали следующие компоненты, мас. %: фритта 2/154 – 22,5–32,5; полевои шпат вишневогорский – 20,0–30,0;  $\text{TiO}_2$  – 7,5–15,0. Постоянными компонентами в системе являлись глинозем NO–105, каолин АК Prime, кварц молотый пылевидный (Гомельский ГОК), глина огнеупорная «Гранитик–Веско», волластанит, доломит Контр М30–1. Их суммарное содержание составляло 40 мас. %. В качестве электролита в состав суспензии вводился триполифосфат натрия в количестве 0,5 % сверх 100 %.

Фритта вводилась в состав с целью снижения температуры образования стекловидного расплава и улучшения качества покрытия. Стеклообразующим компонентом является полевои шпат. Добавление волластонита обеспечивало снижение температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), вероятности появления цека, повышения химической стойкости и твердости глазури. Содержание доломитовой муки обеспечивало снижению вязкости стеклофазы, что приводило к выходу пузырей и улучшению качества глазурного покрытия. Глинозем обеспечивал упрочнение структуры и повышение химической стойкости и истираемости покрытий. Назначение глинистых материалов – стабилизация глазурного шликера. При их введении повышалась адгезия глазури к керамическому черепку. Кварцевый песок добавлялся с целью обеспечения химической стойкости стекловидного глазурного покрытия и снижения ТКЛР.

Химический состав сырьевых материалов, используемых для синтеза титаносодержащей глазури представлен в таблице, а шихтовой состав синтезированных глазурей – на рисунке 1.

Опытные глазури готовились совместным мокрым помолом в лабораторной шаровой мельнице типа Spedy-1 (Италия) до степени помола, обеспечивающей остаток на сите № 0056 ( $10085 \text{ отв./см}^2$ ) в количестве 0,2 %. Влажность глазурной суспензии составляла 45–50 %, плотность –  $1820 \pm 20 \text{ кг/м}^3$ .

Глазурь наносилась с помощью фильеры на высушенную до влажности 1,5–2,0 % поверхность керамогранита. Покрытие высушивалось в сушильном шкафу при температуре  $105 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  до влажности не более 1,5 % и обжигалось в газопламенной роликовой печи FMP-2500 в заводских условиях ОАО «Керамин» при температуре  $1200 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Продолжительность обжига составляла  $60 \pm 2$  мин.

**Таблица – Химический состав используемых сырьевых материалов**

Оксиды	Сырьевые компоненты и содержание в них оксидов, %								
	полевой шпат	фритта 2/154	TiO <sub>2</sub>	глинозем	ДОЛОМИТ	воллстонит	глина огнеупорная	кварцевый песок	каолин
SiO <sub>2</sub>	58,03	45,00	–	0,17	1,67	49,82	59,18	99,58	47,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,17	3,67	–	99,24	0,49	0,23	27,69	0,17	36,49
TiO <sub>2</sub>	0,04	–	99,30	–	0,04	–	1,51	–	0,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,22	0,21	–	0,06	0,69	0,39	1,06	0,09	0,37
CaO	0,60	43,34	–	0,03	51,78	46,13	0,31	–	0,10
Na <sub>2</sub> O	8,28	0,58	–	0,48	–	–	0,45	–	0,01
MgO	0,10	1,08	–	–	1,87	1,04	0,53	–	0,12
K <sub>2</sub> O	8,43	0,09	–	–	0,12	0,03	1,93	–	0,41
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	3,87	–	–	–	–	–	–	–
CuO	–	–	27,93	–	–	–	–	–	–
ZnO	–	2,15	–	–	–	–	–	–	–
PbO	–	0,10	–	–	–	–	–	–	–
ППП	1,13	–	0,70	0,02	43,34	2,36	7,34	0,16	13,78



**Рис. 1 – Составы синтезируемых глазурных покрытий**

В результате проведенных исследований были получены глазурные глушеные матовые покрытия с равномерным разливом. Опытные составы имели белый и бело-желтоватый цвет. Дефекты на глазурном покрытии отсутствовали.

Установлено, что цвет формирующихся покрытий определяется коэффициентом, выражаемой формулой [2]:

$$K = (SiO_2 + Al_2O_3 + B_2O_3) / (RO(CaO + MgO) + R_2O(Na_2O + K_2O))$$

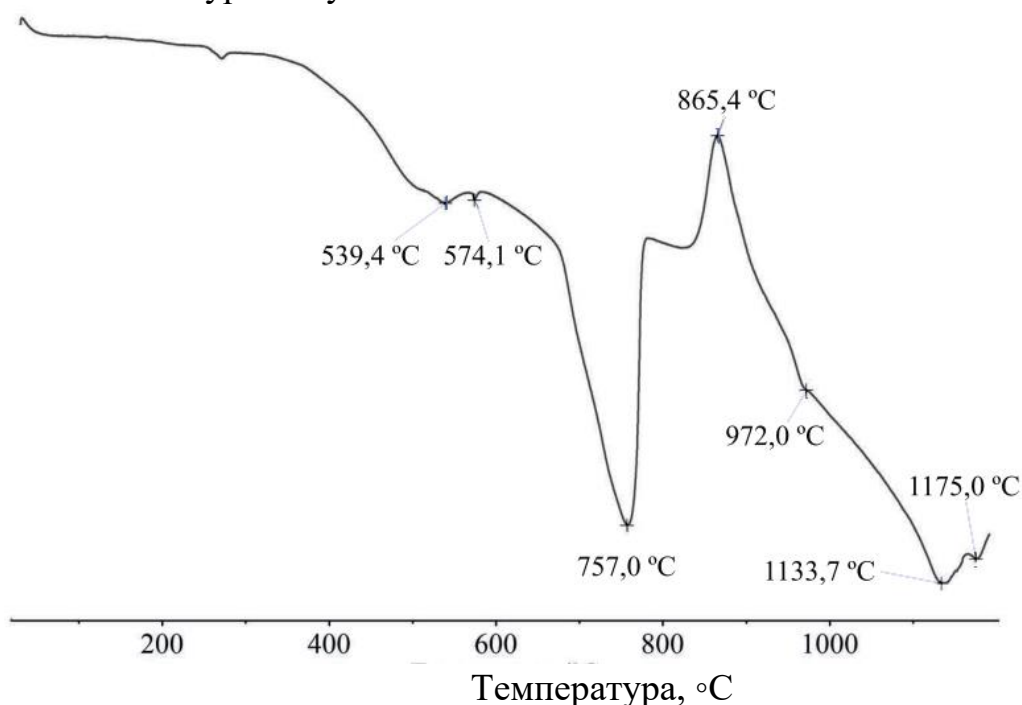
Проведенные нами расчеты данного коэффициента позволили установить, что в синтезированных полуфриттованных покрытиях белого цвета его значения составляют 1,98–2,26, что согласуется с исследованиями, полученными в работах [2,3]. Соотношения  $TiO_2/CaO$  в полученных нами покрытиях белого цвета составляют 0,51–0,58, что также согласуется с данными работами работы [3].

В синтезированных глазурях сформировались две основные кристаллические фазы: сфен  $CaOTiO_2[SiO_4]$  и анортит  $Ca[Al_2Si_2O_8]$ .

Показатели белизны покрытий составляли 64–70 %, значения блеска – 11–16 %. Температурный коэффициент линейного расширения находился в интервале  $(63,95–75,80) \cdot 10^{-7} K^{-1}$ . Микротвердость покрытий составляла от 7620 до 7890 Мпа. Глазурные покрытия являлись химически стойкими к раствору №3 при воздействии его в

течение 6 ч по ГОСТ 27180. Термостойкость опытных составов составляла 150 °С.

С помощью дифференциально-сканирующей калориметрии установлены следующие термические эффекты (рис. 2). При температурах 499–539 °С наблюдались эндотермические эффекты, которые связаны с удалением гидроксильной воды из глинистых минералов, а при 574–575 °С – эндоэффекты, обусловленные с переходом β-кварца в α-кварц. В интервале температур 757–781 °С эндоэффекты обусловлены разложением MgCO<sub>3</sub>. При температурах 860– 865 °С наблюдался экзотермический эффект, вызванный кристаллизацией покрытий, а эндоэффекты при 1133–1175 °С плавлением глазурной суспензии.



**Рис. 2 – Дифференциально-сканирующей калориметрии**

экзотермический эффект, вызванный кристаллизацией покрытий, а эндоэффекты при 1133–1175 °С плавлением глазурной суспензии.

Структура синтезированных покрытий изучена с помощью сканирующего микроскопа EDXJED–2201 JEOL (Япония). Она представлена преимущественно кристаллами призматического габитуса, по-разному ориентированными на поверхности глазури. Их размеры составляют от 1,2 до 10 мкм. Кристаллы равномерно распределены по поверхности покрытия. Наличие указанных кристаллических фаз в глазури может свидетельствовать о высокой износостойкости покрытий.

### Список использованных источников

1 Photocatalytic disinfection using titanium dioxide: spectrum and mechanism of anti-microbial activity / H/ A. Foster [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2007. – Vol. 90, iss. 6. – P. 1847–1868.

2. Влияние некоторых компонентов на свойства титановых глазурей / П.Г. Паукш [и др.] // Неорганические стекла, покрытия и материалы: Сб. Ст. – Рига: рижск. политехн. ин-т, 1983. – Вып. 2. – С. 163–169.

3. Бобкова, Н. М. Фазообразование в титаносодержащих системах, используемых для получения глазурей / Н. М. Бобкова, Л. В. Болобан, С. А. Гайлевич // Стекло и керамика. – 1997. – № 1. – С. 17–19.

УДК 666.646:666.3

**И.А. Левицкий, А.В. Саплев**

Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

## КЕРАМИЧЕСКИЕ МАССЫ ДЛЯ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТОК НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Аннотация.* Приведены результаты исследования составов керамических масс для получения плиток внутренней облицовки стен с использованием сырья Республики Беларусь. Определены основные физико-механические и технологические характеристики образцов. Изучены их структура и фазовый состав. Образцы получены при температуре  $1120 \pm 3$  °С и продолжительности  $53 \pm 2$  мин.

**I.A. Levitskii, A.V. Saplev.**

Belarusian State Technological University,  
Minsk, Belarus

## CERAMIC MASSES FOR WALL TILES BASED ON MINERAL RAW MATERIALS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

*Abstract.* The results of a study of the ceramic masses compositions for wall tiles using mineral raw materials of the Republic of Belarus are presented. The main physical, mechanical and technological properties of the obtained samples have been determined. The phase composition and structure have been studied. The samples were obtained at a temperature of  $1120 \pm 3$  °C for  $53 \pm 2$  minutes.

В работе применялось преимущественно сырье Республики Беларусь. В исследованной системе сырьевых компонентов переменными являются следующие компоненты, вводимые в количестве, мас. %: суглинки месторождения «Фаниполь» 24–30; легкоплавкая глина месторождения «Ново-Лукомль» 26–32 и гранитоидные отсеvy, образующиеся при дроблении горных пород в РУП «Гранит», 14–20. Постоянными составляющими являются глина месторождения «Гайдуковка», доломитовые отсеvy месторождения «Руба», кварцевый песок Гомельского ГОКа, каолин-сырец KZ-1 (Украина). Содержание постоянных компонентов составляет 34 мас.% (рис. 1).

Суглинки месторождения «Фаниполь» (Минская обл.) относятся к группе грубодисперсного, тугоплавкого сырья. Глинистое вещество является неоднородной смесью гидрослюды и каолинита. Присутствует значительное количество включений кварца.

Глина месторождения «Ново-Лукомль» (Витебская обл.) является легкоплавким глинистым сырьем, а месторождения «Гайдуковка» (Минская область) – также к легкоплавким и относится к группе каолинито-монтмориллонито-гидрослюдистых глин.

В качестве основы при производстве керамической плитки для внутренней облицовки стен используются глинистые материалы (глины месторождений «Гайдуковка» и «Ново-Лукомль», суглинки месторождений «Фаниполь», каолин-сырец KZ-1), обеспечивающие пластичность влажной массы, необходимую для формовки полуфабриката плитки, и достаточную его прочность в высушенном и обожженном состояниях. Введение легкоплавкого глинистого сырья обеспечивает спекание черепка изделий за счет формирования расплава.

Кварцевый песок марки ВС-050-1 Гомельского ГОКа относится к обогащенным рыхлым сыпучим геологическим образованиям. Кварцевый песок вводился в качестве отошающей добавки в количестве 5 мас. % с целью уменьшения усадки готового изделия. Он образует «скелет» изделия, то есть выполняет структурную функцию, необходимую для того, чтобы ограничить и контролировать изменение размеров изделия при сушке и обжиге.

Гранитоидные отсеvy РУП «Гранит» (Брестская обл.) на первоначальном этапе процесса обжига выполняют роль отошителя, а при максимальной температуре обжига – роль плавня, обеспечивая в сочетании с глинистыми компонентами формирование значительного количества жидкой фазы. Главными пороодообразующими минералами

гранитоидов являются плагиоклаз, щелочной полевой шпат, кварц, небольшие включения биотита и каолинита.



**Рис. 1 – Область составов керамических масс для плиток внутренней облицовки стен**

Доломитовые отсева ОАО «Доломит» использовались в качестве плавня, обеспечивающего снижение усадки образцов. Оксиды кальция и магния способствуют спеканию глинистых масс, выступая как плавни, благодаря образованию легкоплавких эвтектик, прежде всего с кремнеземом. При этом MgO незначительно сокращает интервал спекшегося состояния, а CaO – существенно, что может вызывать деформацию изделий при обжиге.

В качестве электролита применялся триполифосфат натрия и жидкое стекло, вводимые в количестве 0,06 % и 0,3 % соответственно сверх 100 % составляющих массы.

Приготовление керамических масс производилось совместным мокрым помолом в лабораторной шаровой мельнице «Speedy» (Италия) до остатка на сите № 0063 в количестве 1,5 – 2,0 %. Влажность шликера находилась в пределах 36 – 40 %. Полученный шликер подвергался сушке до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 150±5 °С до остаточной влажности 1,5 % с последующим измельчением и рассевом. Обеспечивался гранулометрический состав, характеризующийся содержанием фракций по размеру зерен, мм, в мас. %: менее 0,125 – 5; (0,25–0,125) – 37; (0,50–0,25) – 55; более 0,5 – 3.



Далее приготовленные порошки смешивались и увлажнялись до влажности 5–6 % и подвергались вылеживанию для усреднения влажности в течение 3 суток.

Перед прессованием пресс-порошок перемешивался и протирался через сито № 1. Прессование образцов проводилось двухступенчато при давлении прессования 12 и 22 МПа соответственно. Сушка образцов осуществлялась при температуре  $150 \pm 5$  °С в течение 30 мин.

Для обжига полуфабриката применялась конвейерная печь типа FMS-2850 и он велся при температуре  $1120 \pm 3$  °С в течение  $53 \pm 2$  мин на ОАО «Керамин».

Интервал содержания компонентов сравнительно широкой области позволял проследить закономерность процессов спекания в зависимости от количественного содержания его составляющих и выбора оптимальной области составов для получения керамических масс.

Значения общей усадки образцов находились в интервале 2,7–5,2 % и ее значения зависели от количества вводимого глинистого сырья и гранитоидных отсеков.

Механическая прочность при изгибе образцов составляла от 13,6 до 18,7 МПа и эти показатели возрастали с повышением содержания гранитоидных отсеков и глины месторождения «Ново-Лукомль».

Водопоглощение плиток составляло от 17,0 до 20,1 %. Наиболее существенно показатель водопоглощения также зависел от количества введенных гранитоидных отсеков и глины «Ново-Лукомль» и снижался с ростом их содержания в составе массы.

Кажущаяся плотность образцов плиток лежала в интервале 1720–1830 кг/м<sup>3</sup> и ее значения возрастали с повышением степени спекания опытных образцов.

Открытая пористость плиток зависела также от степени спекания образцов и значения находились в интервале от 33,6 до 37,4 %, закономерно снижаясь при повышении количественного содержания гранитоидных отсеков и глины месторождения «Ново-Лукомль».

Температурный коэффициент линейного расширения образцов в интервале температур (20–400) °С составлял  $(6,62–6,95) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

Установлено, что область оптимальных составов характеризовалась содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , составляющим 13,3–15,6 мас. %. Сумма оксидов щелочных и щелочноземельных металлов при этом составляла 17,4–18,2 мас. % при соотношении  $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$ , находящемся в пределах 3,25–3,34. Содержание кварца при этом составляло 61,6–63,2, а оксидов железа – 4,66–4,88 мас. %.

Выполненный с помощью прибора DIL 402 PC фирмы Netzch (Германия) термический анализ сырьевых смесей исследуемых керамических масс позволил установить, что при нагревании характерна идентичность процессов, протекающих в них, что иллюстрирует рис. 2.

При температуре 84,7 – 87,9 °С наблюдается эндоэффект, связанный с удалением физически связанной воды, содержащейся в сырьевых материалах. Экзотермические эффекты при 340,5 – 342,9 °С обусловлены структурной перестройкой  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$  в железосодержащих составляющих сырья. При температуре 504,6 – 508,7 °С наблюдаются эндоэффекты, связанные с удалением конституционной влаги, переходом  $\beta$ -кварца в  $\alpha$ -кварц и разрушением структуры монтмориллонита и каолинита. Глубокий эндоэффект, обусловленный разложением доломита протекает при температуре 783,5 – 784,9 °С с образованием MgO. При температуре 891,6 – 896,7 °С наблюдается экзотермический эффект, вызванный кристаллизацией анортита, а при 947,6 °С – альбита.

Рентгенофазовым анализом с помощью рентгеновского дифрактометра фирмы D8 Advance фирмы Bruker (Германия) установлено в образцах плиток наличие  $\alpha$ -кварца, анортита и небольших количеств альбита.

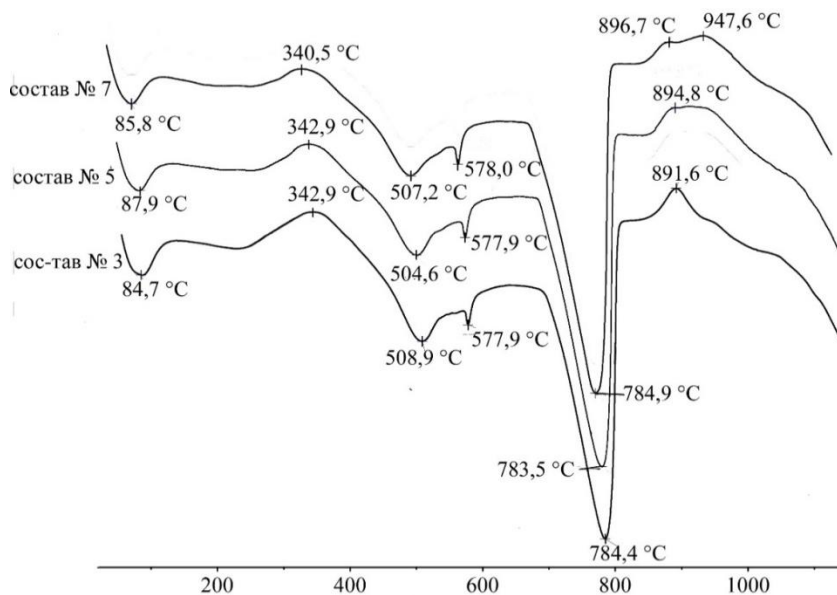


Рис. 2 – Кривые ДСК исследованных шихт

Электронно-микроскопическим исследованием с помощью сканирующего микроскопа JEOL JCM-5610LV (Япония) позволило установить, что микроструктура образцов представлена преимущественно аморфизированным веществом с наличием

кристаллических образований, близких к призматическим. Размеры этих кристаллов колеблются в широких значениях размеров – от 0,1 до 3,5 по длине и 0,1–1,5 мкм по ширине. Присутствует также стекловидная фаза, образующая прослойки между кристаллическими образованиями, что позволяет заключить, что рост кристаллов происходил в структуре плиток из жидкой фазы, формирующейся при высокотемпературном обжиге. Формируются также кристаллы кварца, имеющие преимущественно изометричный габитус, с размером 0,2–1,4 мкм, которые формируют каркас структуры.

Поры преимущественно тупиковые, вытянутые, с пережимами и расширениями, нередко округлые или извилистые, неправильной остроугольной формы. Размеры пор составляют от 0,3 до 1,6 мкм.

Проведенные исследования позволяют заключить, что в многокомпонентном составе сырьевой смеси на основе местного полиминерального глинистого сырья и добавок возможно получение керамических плиток для внутренней облицовки стен, отвечающих требованиям нормативно-технической документации.

УДК 004.491

**О.А. Лизунов, О.Т. Сулейменов**

Институт информационных и вычислительных технологий Министерство образования и науки Республики Казахстан

## **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММАХ-ВЫМОГАТЕЛЯХ**

*Аннотация.* В данной статье речь пойдет о программах-вымогателях, их классификации, целях применения, шифровальщике Babuk, а также о трех наиболее известных киберпреступных группировках, использующих шифровальщики.

**O.A. Lizunov, O.T. Suleimenov**

Institute of Information and Computational Technologies of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

## **GENERAL INFORMATION ABOUT RANSOMWARE**

*Abstract.* This article will focus on ransomware, their classification, purpose of use, Babuk ransomware, as well as the three most famous cybercriminal groups using ransomware.

## **Введение**

Повсеместная цифровизация и автоматизация различных сфер жизнедеятельности показали, что за предоставление всех благ и удобств, которые предоставляют нам информационные технологии, приходится платить большую цену из-за ущерба, наносимого киберпреступниками в результате проведения кибератак на бизнес-процессы, объекты критически важной инфраструктуры и т.д. Злоумышленников (хакеров), которые проводят подобные кибератаки называют «Black Hat» (черные шляпы).

Компания Fortinet представила отчет «2021 Global State of Ransomware Report», согласно которому среди существующих киберугроз наибольшие опасения вызывают программы-вымогатели.

Согласно исследованиям компании Avast, установлено, что число кибератак программ-вымогателей на пользователей за последние пять месяцев (июнь-октябрь) выросло на 33% по сравнению с первыми месяцами (январь-май) 2021 года.

В СМИ все чаще стала появляться информация о проведении различных кибератак с использованием шифровальщиков, большая часть которых приходится на инфраструктуру критически важных объектов. Все это связано с тем, что порог входа в киберпреступный бизнес находится на низком уровне, не требующем высокой квалификации от злоумышленников, так как программы-вымогатели стали доступны как **Ransomware-as-a-Service** («Вымогательство как услуга»).

В связи с этим, во всем мире возникла острая необходимость в обеспечении надлежащей защиты всей информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, создании соответствующей нормативно-правовой базы, подготовке специалистов информационной безопасности и т.д.

## **Программы-вымогатели**

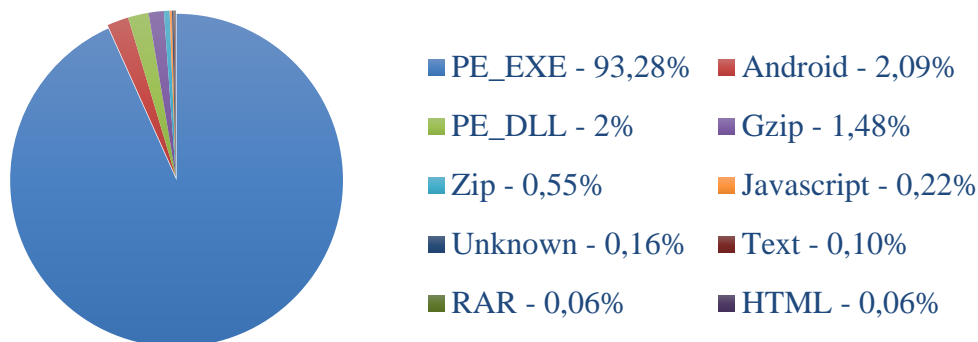
Программа-вымогатель (ransomware) – тип вредоносного ПО, позволяющий блокировать доступ к компьютерной системе или предотвращать считывание записанных в ней данных (с помощью методов шифрования, блокировки доступа к системе), с целью получения выкупа от жертвы для восстановления исходного состояния системы.

Программы-вымогатели условно разделяют на две группы: блокировщики (локеры) и шифровальщики.

**Блокировщик (локер)** - программа, блокирующая или имитирующая блокировку ЭВМ (мобильного устройства).

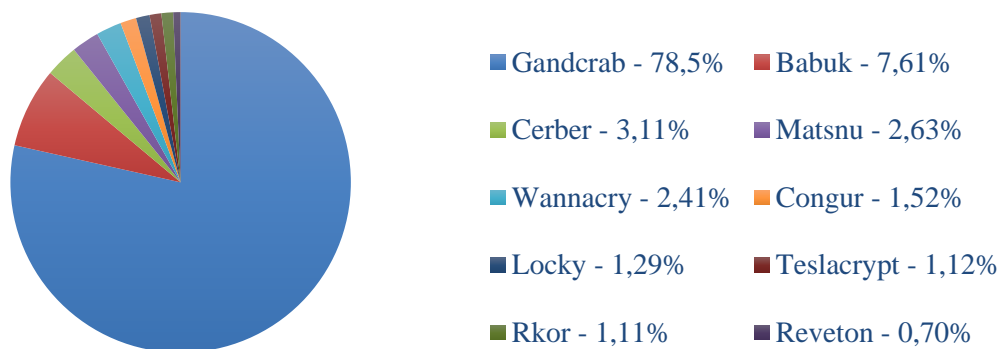
**Шифровальщик** - программа, которая зашифровывает данные на диске ЭВМ.

По данным отчета бесплатной службы VirusTotal, выпущенным в октябре 2021 года, установлено, что почти 95% обнаруженных программ-вымогателей являются исполняемыми файлами (EXE), разработанными под ОС Windows и только 2% вредоносных программ разработаны под ОС Android. Общая диаграмма реализаций шифровальщиков представлена на рис. -1.



**Рис. 1 – Процентное соотношение реализаций шифровальщиков**

Экспертами VirusTotal был проведен анализ большого количества образцов программ-вымогателей, в результате которого вредоносные файлы были разделены на семейства, количество которых составило около 130, из которых было выделено 10 самых активных семейств, которые представлены на рис. 2.



**Рис. 2 - 10 самых активных программ-вымогателей**

Хотелось бы отметить, что шифровальщики своими действиями затрагивают сразу три фундаментальных свойства информационной безопасности – конфиденциальность, целостность, доступность.

Основными целями при проведении кибератак с использованием шифровальщиков являются:

1. Нанесение ущерба государственным интересам.
2. Похищение конфиденциальной информации.

3. Блокировка доступа авторизованных пользователей к данным с целью получения денежного вознаграждения.

### **Шифровальщик «Babuk»**

В сентябре т.г. на одном хакерском форуме был выложен исходный код шифровальщика под названием «Babuk». Для специалистов по информационной безопасности это оказалось большим подарком, так как полученные исходники и ключи позволили сэкономить время на изучение принципов работы вредоносной программы, используемых алгоритмов шифрования и быстро создать декрипторы.

С помощью шифровальщика «Babuk» киберпреступники активно атаковали организации по всему миру, требуя за расшифрование файлов выкуп в размере 60-85 тыс. долларов США в биткойнах. В числе пострадавших от шифровальщика оказались: сеть магазинов мобильных устройств Phone House, один из ведущих американских производителей систем управления оружием PDI Group и полицейское управление Вашингтона.

После кибератаки на полицейское управление Вашингтона, разработчики шифровальщика заявили о прекращении своей деятельности.

12 октября т.г. одна из крупнейших в мире групп по анализу коммерческих угроз «Cisco Talos Intelligence Group» обнаружила вредоносную активность, предположительно видоизменного шифровальщика «Babuk», поражающего преимущественно пользователей в США, с меньшим количеством заражений в Великобритании, Германии, Украине, Финляндии, Бразилии, Гондурасе и Таиланде.

**Примечание:** в конце октября т.г. чешская компания по разработке ПО для кибербезопасности «Avast» выпустила декриптор, с использованием утекшего исходного кода и ключей расшифрования, позволяющий бесплатно расшифровать файлы жертв, подвергнувшихся атаке шифровальщика «Babuk».

Декриптор может быть использован для файлов с расширением: .babuk, .babuk, .doydo.

### **Используемые алгоритмы шифрования в «Babuk».**

Для генерации ключа используется асимметричный алгоритм шифрования «Curve25519». От полученного ключа получается хеш-образ «SHA-512», который используется в качестве ключа для симметричного потокового шифра «HC-128».

### **Среда разработки и язык программирования:**

MS Visual Studio, C++.

### **Киберпреступные группировки Evil Corp, REvil и DarkSide**

Evil Corp также известная под названиями Indrik Spider и Dridex – киберпреступная группировка, которая по мнению Министерства финансов США считается крупнейшей хакерской группировкой в истории. Предположительно, образовалась в 2007 году.

Киберпреступники начинали свою деятельность с троянской программы и ботнета нового типа Zeus. Затем, злоумышленники сосредоточились на распространении банковской троянской программы Dridex. По истечении определенного времени, киберпреступники перешли к распространению шифровальщиков, в том числе предположительно шифровальщика «Babuk».

В декабре 2019 г. казначейство США заявило, что за все время своей деятельности группировка Evil Corp нанесла гигантский ущерб банковской системе США в размере свыше 100 млн. долларов США.

Ransomware Evil (REvil), также известная как Sodinokibi — киберпреступная группировка, считающаяся одной из самых активных в мире, которая использовала и предоставляла услуги программ-вымогателей.

Руководство США оценило причиненный ущерб киберпреступной группировкой REvil, проводившей кибератаки на критическую инфраструктуру США и нанесших огромный урон стране, как угрозу национальной безопасности США.

В связи с этим, поимкой киберпреступников занимались не только ФБР и секретная служба США, но и военные аналитики киберкомандования Министерства обороны США.

Наиболее масштабная кибератака REvil была проведена в отношении бразильской мясоперерабатывающей компании JBS S.A.

DarkSide — киберпреступная группировка, разрабатывающая вредоносное ПО и работающая по модели «Вымогательство как услуга». Впервые была отмечена в августе 2020 года.

Наиболее масштабная кибератака DarkSide была проведена в отношении компании Colonial Pipeline.

По данным исследовательской компании Elliptic, в период с августа 2020 года по апрель 2021 года DarkSide получила выкуп от своих жертв в размере около 90 млн. долларов США в биткоинах.

### **Заключение**

Таким образом, программы-вымогатели по праву можно назвать кибероружием 21 века. За последние годы от действий шифровальщиков государственному и частному сектору был нанесен огромный урон.

В связи с низким порогом входа в киберпреступную деятельность по распространению программ-вымогателей, предоставлением киберпреступниками «услуг по вымогательству», получением злоумышленниками большого дохода от распространения вредоносного ПО, появлению в открытом доступе исходного кода шифровальщика «Babuk» и переходом сотрудников компаний на удаленный формат работы свидетельствует о том, что угроза от программ-вымогателей для государственного и частного сектора в краткосрочной и среднесрочной перспективе сохранится.

### **Благодарность**

*Статья подготовлена в рамках проекта программно-целевого финансирования OR11465439 «Разработка и исследование алгоритмов хеширования произвольной длины для цифровых подписей и оценка их стойкости» Министерства образования и науки Республики Казахстан.*

### **Список использованных источников**

1. <https://storage.googleapis.com/vtpublic/vt-ransomware-report-2021.pdf>
2. <https://habr.com/ru/post/569304/>
3. <https://devsday.ru/blog/details/68055>
4. <https://www.cisa.gov/stopransomware/ransomware-guide>
5. <https://blog.talosintelligence.com/2021/11/babuk-exploits-exchange.html>

УДК 58.02:502.316

**А. А. Мاستич, О.А. Липская**

Гомельский Государственный политехнический колледж  
Гомель, Республика Беларусь

## **ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА НА ПРОИЗРОСТАНИЕ ЕЛИ КОЛЮЧЕЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА ГОМЕЛЯ**

*Аннотация.* Работа посвящена выявлению и оценке влияния антропогенного фактора на ход роста ели колючей в условиях города Гомеля. Установлено, что в местах с наибольшей антропогенной нагрузкой наблюдается не только замедление роста и развития насаждения, но и ухудшение внешних признаков насаждения.



## **THE INFLUENCE OF THE ANTHROPOGENIC FACTOR ON THE GROWTH OF THE PRICKLY SPRUCE IN THE CONDITIONS OF THE CITY OF GOMEL**

*Abstract.* The work is devoted to the identification and assessment of the influence of the anthropogenic factor on the growth of the prickly spruce in the conditions of Gomel. It has been established that in places with the greatest anthropogenic load, not only a slowdown in the growth and development of plantings is observed, but also a deterioration in the external signs of plantings.

Человек всегда использовал окружающую среду в основном как источник ресурсов, однако в течение очень длительного времени его деятельность не оказывала заметного влияния на биосферу. Лишь в конце прошлого столетия изменения биосферы под влиянием хозяйственной деятельности обратили на себя внимание ученых. В первой половине нынешнего века эти изменения нарастали и в настоящее время лавиной обрушились на человеческую цивилизацию. Стремясь к улучшению условий своей жизни, человек постоянно наращивает темпы материального производства, не задумываясь о последствиях.

Объект исследования – насаждения ели колючей в границах города Гомеля.

Предмет – ход роста ели колючей, таксационные показатели.

Исходя из объекта и предмета была поставлена цель исследовательского проекта.

Цель: выявление и оценка влияния антропогенного фактора на ход роста ели колючей в условиях города Гомеля.

Для реализации цели намечен ряд задач:

1. Изучить биологические особенности вида ели колючей.
2. Изучить экологические условия города.
3. Исследовать основные показатели роста и развития.
4. Сформулировать выводы и наметить пути улучшения состояния насаждений ели колючей.

Выдвигаемая гипотеза: на ухудшение общего состояния насаждений ели колючей повлиял антропогенный фактор.

Среди интродуцированных видов ели наиболее часто в озеленении используется ель колючая (*P. pungens*), родом из Северной Америки, особенно ее сизо-голубая или серебристая форма. Частое ее

использование в озеленении городов обусловлено тем, что самый дымо- и газоустойчивый вид ели.

Высокое дерево высотой до 40 м с плотной ширококонусовидной, обычно низко опущенной кроной. Кора серо-коричневая толстая бороздчатая. Молодые побеги желтовато-коричневые или оранжево-коричневые, голые, жесткие. Почки, тупоконические, не смолистые, верхушки чешуек отогнуты в стороны. Хвоя длиной 2-3 см, колючая, жёсткая, немного изогнутая, по центру листа проходит полоса светлых устьиц, что придает хвое сизовато-зелёный и даже голубоватый, серебристый оттенок. В культуре бывают сорта с голубоватой, серебристой или золотистой хвоей. Зрелые шишки овально-цилиндрические, светло-коричневые, длиной 5-10 см, гибкие, рыхлые. Чешуи тонкие, по краю волнистые или выемчатые. Семена длиной 2 мм с коротким желтовато-бурым крылом.

От других елей отличается длинной торчащей 4-гранной очень острой хвоей, цвет которой может изменяться от зеленого, голубого, или сизого до почти белого. Цвет зависит от воскового налета на молодой хвое, толщина которого различна у разных форм ели. К зиме налет постепенно сходит, и крона изменяет свою окраску на темно-зеленую, а хвоя становится более жесткой.

Мужские шишки буровато-коричневые, женские — красные, при созревании зеленеющие, а затем буреющие. Цветение в мае — начале июня. Зрелые шишки цилиндрические, светло бурые, длиной 5-10 см. Созревают к сентябрю того же года. До осени следующего года обычно висят на дереве даже после высыпания семян.

Хозяйственное значение. Самая декоративная из елей. Хорошо переносит городские условия, засухоустойчива и морозостойка. Высаживается в парках, садах, скверах, внутриквартальных территориях группами и одиночно [1].

В ходе проведения научной работы было измерено 97 деревьев вида ели колючей, результаты измерений были занесены в таблицу и проанализированы по основным показателям (высота, диаметр, плодоношение, ширина кроны, общее состояние). Измеренные деревья произрастают вдоль дороги по улице Советская, наиболее оживленной в городе, т. е. испытывающая наибольшую антропогенную нагрузку. Основными загрязняющими веществами являются формальдегид, фтористый водород, твердые частицы (0,8 ПДК), фенол (0,4 ПДК), аммиак (0,2 ПДК), оксид углерода. Главными источниками загрязнения являются автотранспорт [2]

Было установлено, что в данной местности преобладают ели переходной формы 58, наименьшее количество деревьев зеленой

формы 16. Средний диаметр измеренных деревьев составляет 14,74см, а средняя высота 7,1 м. Средняя ширина кроны равна 275x277.

Ель колючая (форма голубая)- количество штук 23; средний диаметр 11,1 см; средняя высота 4,9 м; средняя ширина кроны составляет 242,7x244,1см. Плодоношение слабое.

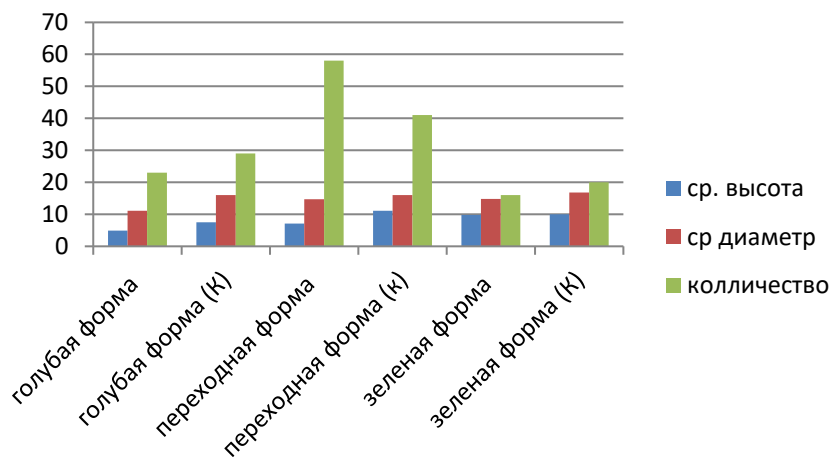
Ель колючая (форма зеленая)- количество штук 16; средний диаметр 14,8 см; средняя высота 9,8 м; средняя ширина кроны составляет 288,1x265см. Плодоношение слабое.

Ель колючая (форма переходная)- количество штук 58; средний диаметр 14,7 см; средняя высота 7,1 м; средняя ширина кроны составляет 283,9x292,7см. Плодоношение обильное.

Для контроля полученных данных на территории города Гомеля были изучены насаждения ели колючей в местах с меньшей антропогенной нагрузкой. Были также проанализированы, те же показатели (высота, диаметр, плодоношение, ширина кроны, общее состояние). В ходе перече́та были получены следующие данные: количество штук 90; средний диаметр 16,3 см; средняя высота 9,5 м; средняя ширина кроны составляет 323,1x318,9 см. Плодоношение обильное.

Сравнение изучаемого объекта и контрольного приведено на рис.

1.



**Рис. 1 – Сравнительная характеристика ели колючей**

При изучении полученных результатов были полученные следующие выводы:

1 Антропогенный фактор оказывает негативное влияние на произрастание ели колючей в условиях города Гомеля.

2 В местах с наибольшей антропогенной нагрузкой наблюдается не только замедление роста и развития насаждения, но и ухудшение внешних признаков насаждения.

### Список использованных источников

1. Смоляк, А.П. Дендрология / А.П. Смоляк. Минск: Вышш шк., 1980.
2. Хабберер, М. Декоративные деревья и кустарники / М. Хабберер. М.: Рипол классик, 2002.
3. <https://rad.org.by/articles/vozduh/sostoyanie-atmosfernogo-vozduha-v-1-kvartale-2021-goda/g-gomel>

УДК 628.4

**А.Б. Невзорова, А.А. Михальченко**

Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Республика Беларусь

### **ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ ТРАНСПОРТИРОВКА ОТХОДОВ В ПОДЗЕМНОМ ТРУБОПРОВОДЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И РЕАЛЬНОСТЬ В БЕЛАРУСИ**

*Аннотация.* Образование отходов на селитебной территории сегодня является неизбежным процессом. Показана роль технологии сбора отходов и способ его транспортировка к месту сортировки и использования. Проанализированы проблемы при внедрении пневматической транспортировки отходов в подземном трубопроводе и перспективы его развития в Беларуси.

**A.B. Neuzorova, A.A. Mikhalchenko**

Belarusian State University of Transport  
Gomel, Republic of Belarus

### **PNEUMATIC WASTE TRANSPORTATION IN AN UNDERGROUND PIPELINE: PROSPECTS AND REALITY IN BELARUS**

*Annotation.* Waste generation in residential areas is an inevitable process today. The role of waste collection technology and the way of its transportation to the place of sorting and processing are shown. The problems of the introduction of pneumatic transportation of waste in an underground pipeline and the prospects for its development in Belarus are analyzed.

С ростом требований к благоприятным условиям жизни и окружающей среде традиционный способ транспортировки отходов не может удовлетворить потребностям людей. Система транспортировки отходов по пневматическим трубопроводам, известная своей чистотой,

удобством, экономичностью и благоприятным влиянием на здоровье людей, становится тенденцией к использованию данной системы.

В настоящее время, одной из особенностей процесса сбора отходов является тот факт, что в балансе времени работы транспортных средств значительное место занимает время на погрузо-разгрузочные операции и маневрирование. В стесненных условиях городских дворов эти маневровые операции занимают от 25 до 40% и более времени работы автомобиля. В связи с чем достаточно остро встает проблема безопасности движения и ухудшения экологической обстановки в жилых микрорайонах, а также неэкономного расхода топливно-энергетических ресурсов при выполнении маневров, связанных с погрузкой твёрдых и коммунально-бытовых отходов.

Одним из способов решения отмеченных проблем является применение вакуумных систем с использованием трубопроводного пневмотранспорта. Пневматический сбор и удаление коммунальных отходов практикуется во многих зарубежных странах. Это довольно эффективный метод транспортировки и обработки коммунально-бытовых отходов. Трубопроводы можно использовать для транспортировки отходов, как на малые, так и на большие расстояния. Полностью автоматизированная система сбора и удаления отходов предоставляет собой широкий потенциал технических возможностей для сбора и перемещения отходов любого типа [1].

Среди существующих проблем систем сбора отходов можно выделить следующие:

- антисанитарное состояние (особенно в тёплое время года);
- выделение вредных веществ в окружающую среду при движении мусоровозов от места сбора отходов до пункта приёма (сортировки).

Инновационная технология транспортирования отходов с использованием пневматические системы подземного трубопроводного транспорта могут помочь решить эти проблемы, собирая отходы с помощью вакуумного воздушного потока.

Для их внедрения необходимо создать групповые системы отхоодоотведения, которые будут представлены в виде технических систем и обслуживающих:

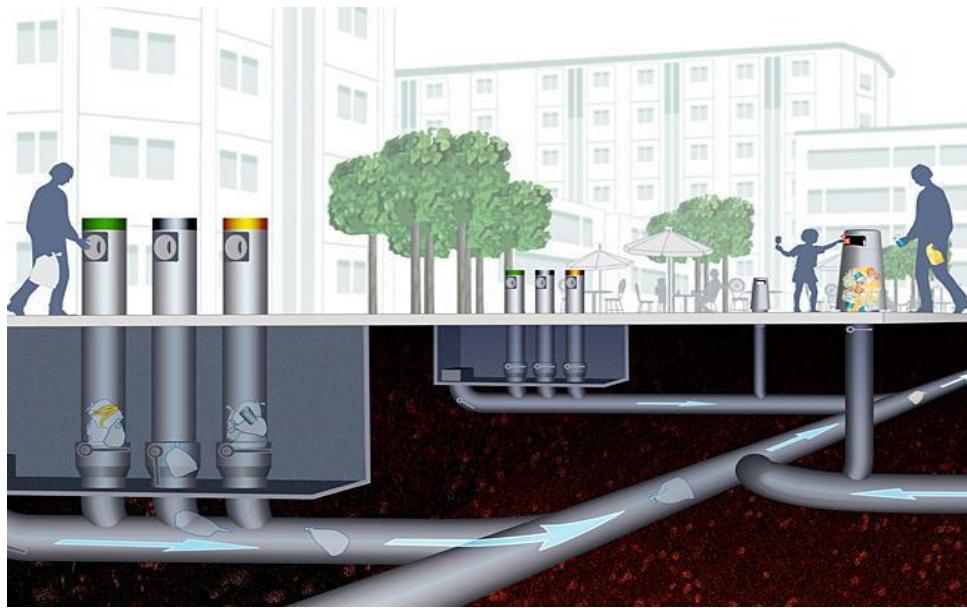
- селитебные территории или группы населенных мест, с крупными сооружениями для сортировки отходов и подготовки к доставке к местам переработки отходов [2];
- отдельные районы населенных пунктов, с установками малой производительности, для сортировки и подготовки к доставке к местам переработки отходов;

– отдельные группы зданий, отдельные коммунальные сооружения и производственные предприятия с установками для сортировки и подготовки к доставке к местам переработки отходов;

– отдельные группы зданий, отдельные коммунальные сооружения и производственные предприятия с установками для переработки отдельных видов отходов [3].

Технология вакуумной транспортировки отходов появилась ещё в середине прошлого века, и используется в транспортировке различных материалов в производственных циклах на различных предприятиях. Ее применение обосновано для промышленных зон и населенных пунктов с высокой и средней плотностью заселения, так как вакуумная система является закрытой системой трубопроводов без возможности несанкционированного проникновения, а также иные преимущества, например, отсутствуют запахи, поступающие из них в атмосферу. Также при проектировании и строительстве данной системы, которую можно прокладывать вдоль существующих трубопроводных и иных транспортных коммуникаций, при этом их подземное расположение не вызывает проблем с прокладкой даже в сложных грунтовых условиях [4].

Такие системы доставки отходов к местам сортировки и переработки являются наиболее рациональными и экономически оправданными, при сравнении существующей структуры сбора и транспортировки отходов и основных принципов работы пневматической системы трубопроводного транспорта отходов. Основные принципы работы системы отхоодоотведения, например, в среде населенного пункта, представляют собой следующую технологическую схему работы, представленную в следующем виде: на поверхности в местах сбора отходов устанавливаются приемные контейнеры, возвышающиеся над уровнем земли на высоте около 1 метра. Для правильности сбора отходов, приемная часть маркируется специальными общепринятыми яркими расцветками с дополнительным размещением надписей и символов в соответствии с системой селективного сбора, при этом они читаемы для различных категорий граждан. На рис. 1 в качестве иллюстрации представлена узловая пневматическая система удаления отходов в жилом районе застройки [5].



**Рис. 1 – Модель пневматической системы удаления отходов [5]**  
**Fig. 1 – Model of pneumatic waste disposal system [5]**

Предлагаемая технология транспортировки может позволить решить в масштабах жилых районов города и промышленного сектора имеющиеся проблемы, связанные с накоплением, хранением, а также антисанитарным и экологическим состоянием, связанным с выделением вредных веществ в окружающую среду. Широкое внедрение данной технологии транспортировки позволит не только разгрузить транспортные артерии и улучшить экологию города, но и создаст перспективные и экономически оправданные предпосылки для развития строительной отрасли в части прокладки, строительства и эксплуатации трубопроводных сооружений.

Однако, если реалистично оценивать перспективу внедрения данной системы транспортировки отходов в Республике Беларусь, можно выявить ряд проблем, крайне затрудняющих её продвижение в реальность:

– *отношение к сбору отходов гражданами разных стран.* В Республике Беларусь принят Закон «Об обращении с отходами», который устанавливает, что физические лица обязаны обеспечивать сбор отходов и их разделение по видам, если для этого юридическими лицами, обслуживающими жилые дома, созданы необходимые условия. Штраф за несоблюдение условий раздельного сбора отходов назначается в соответствии с пунктом 2 статьи 15.63 Кодекса Республики Беларусь об административных правонарушениях и составляет от 5 до 50 базовых (от 135 до 1350 рублей, по состоянию на сентябрь 2020 года);

– условия раздельного сбора в разных городах и районах могут быть разные. Действующая система сбора отходов с установлением контейнеров для различных видов, что предполагает раздельный сбор. Граждане сортируют отходы, однако при их вывозе все стружается в один бак мусоровоза. Представим ситуацию, в которой в одном из жилых районов всё же удалось внедрить «перспективную» систему сбора и транспортировки отходов. Тогда необходимо провести социологические исследования и ответить на вопрос – какой процент людей будет безукоризненно выполнять закон по раздельному сбору бумаги/картона, бытовых отходов, стекла и пластика, и других компонентов;

– большие препятствия финансового и бюрократического толка при согласовании проекта и внедрения системы пневматического сбора отходов в уже существующую инфраструктуру жилых кварталов. Внедрение инновационных проектов же при строительстве новых жилых микрорайонов может столкнуться с проблемой финансирования, т.к. по расчетам срок окупаемости для данной системы составляет почти 18 лет, поэтому более экономически целесообразно в ближайшее время продолжать использовать систему сбора и вывоза на полигоны коммунальных отходов города спецавтотранспортом

Быть может, в дальнейшей перспективе при горизонте планирования в 30-50 лет с принятием дополнительных мер по стимулированию сортировки отходов гражданами, разработкой или адаптацией более продвинутых и автоматизированных технологий пневматического трубопроводного транспорта, а также появлению источника финансирования, пневматическая система сбора отходов сможет модернизировать существующую сегодня систему сбора, переработки и утилизации коммунально-бытовых отходов в будущем.

### **Список использованных источников**

1. Naeng-Bae Kim, Jae-No Song. Experimental Study for Establishment of Long-term Monitoring System using Fiber Optical Sensor for Pipeline System for Waste Transportation. – Engineering. – 2016. DOI:10.11112/JKSMI.2016.20.4.035

2. Невзорова, А. Б. Водоснабжение и водоотведение селитебных территорий // А. Б. Невзорова, О. К. Новикова, Г. Н. Белоусова. – Гомель: БелГУТ, 2015. – 265 с.

3. Экологически безопасные методы использования отходов : монография / [Р. П. Воробьева, В. Т. Додолина, Г. Е. Мерзлая и др.]; под



общ. ред. Г. Е. Мерзлой, Р. П. Воробьевой] ; Департамент мелиорации земель и с.-х. водоснабжения, НИИ по с.-х. использованию сточных вод (НИИССВ) «Прогресс», Алт. фил. НИИССВ «Прогресс» и др. – Барнаул: Изд-во АГУ, 2000. – 554 с.

4. Хрусталеv, Б.М. Пневматический транспорт / Б.М. Хрусталеv, Н.В. Кислов // Мн.: ООО «Информационная служба недвижимостu», 1998. – 452 с.

5. Пехота А. Н. Вакуумный пневмотранспорт для производственных и коммунально-бытовых компонентов./ А.Н. Пехота [и др.].– Наука и техника. – 2021. – № 20 (2). – С. 142–149.

УДК 541.123546.135

**А.М. Маматов, Х.М. Тошбоеv, Ш.П. Нуруллаев**

Шуртанский газохимический комплекс,  
Ташкентский химико-технологический институт

## **ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ АМИНОВ И МИДОВ**

*Аннотация.* На основе этих полученных экспериментальных данных показано, что для ингибирования процесса коррозии и солеотложения минеральных солей в оборудованuях изготовленных из сталей марки Ст.3 и Ст.12 рекомендован синтезированный новый амин и амидсодержащие ингибиторы и в растворах серной кислоты эффективность степени защиты металлов равен 75÷98,0%.

**A.M. Mamatov, H.M. Toshboev, Sh.P. Nurullaev**

Shurtan Gas Chemical Complex,  
Tashkent Chemical-Technological Institute

## **CORROSION INHIBITORS BASED ON AMINES AND AMIDES**

*Abstract.* On the basis of these obtained experimental data, it was shown that to inhibit the process of corrosion and salt deposition of mineral salts in equipment made of steel grades St.3 and St.12, a synthesized new amine and amide-containing inhibitors are recommended, and in sulfuric acid solutions the effectiveness of the degree of protection of metals is 75 ÷ 98,0%.

Природные и другие технологические газы Шуртанского газохимического комплекса (ШГХК) содержат вредные кислые примеси, таких как углекислый газ и сернистые соединения

(сероводород, меркаптаны дисульфиды). Эти соединения вызывают коррозии труб и оборудования установок разделения природных газов. С другой стороны, сернистые примеси, а также, их продукты сгорания загрязняют окружающую среду и оказывают вредное действие на организм человека [1-2]. В связи с этим в нашей республике в настоящее время осуществляется широкомасштабные мероприятия по синтезу и изучению физико-химических свойств новых ингибиторов коррозии металлов и солеотложения минеральных солей для химической и нефтегазовой промышленности [3-4]. Предложены многочисленные ингибиторы коррозии и отложения минеральных солей. Потребность республики к таким ингибиторам сейчас составляет более 5 тыс. тонн в год. Поэтому из-за отсутствия производства этих продуктов в Республике последние привозятся из зарубежных стран за валютные средства.

Материалы для исследования служили образцы в форме пластинки выполненные из стали марки Ст.3 и Ст.12. В работе использовались соли  $\text{Na}_2\text{S}$  и  $\text{NaCl}$ . В качестве модельной коррозионной среды использовали  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (фон), а также испытания проводились в 1-3% ном водном растворе  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaOH}$  и 1-3% ном растворе  $\text{Na}_2\text{S}$ .

Изготовленные электроды из стали марки Ст.3 имел состав %: Fe=98,36; C=0.20; Mn=0.50; Si=0.15; P=0.04; S=0.05; Cr=0.30; Ni=0.20; Cu=0.20. Действие солевой среды и ингибиторов на коррозионное поведение стальных образцов (марки Ст.3, Ст.12.) определяли методами поляризационных кривых и гравиметрическим по убыли массы образца после коррозионных испытаний. Были исследованы электрохимическим методом ингибиторы и на прокорродировавшей стальной поверхности.

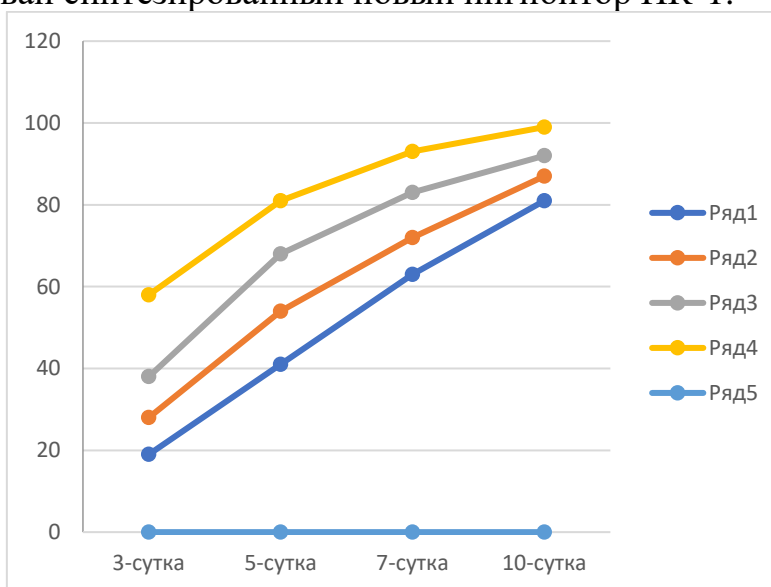
Результаты коррозионно-электрохимического поведения электродов из стали марки Ст.3. и Ст.12 в 3% ном растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при температуре 25°C и 70°C без добавки и с добавкой ингибиторов АТКФ и ИК-1 приведены в таблице-1, а также на рис.1.

Из результатов, приведенных в таблице 1 и на рис.1 найдено, что ингибитор ИК-1 оказывает более эффективное влияние на степень ингибирования Ст.3 и Ст.12 в серноокислотной среде, чем ингибитор АТКФ. С применением ингибитора ИК-1 скорость коррозии Ст.3 и Ст.12 в зависимости от концентрации ингибитора составлял 84÷97,5%.

**Таблица 1 - Изменение скорости коррозии Ст.3 и Ст.12. в присутствии ингибиторов**

ингибитор	фон	Температура, °С	$K_{корр} \cdot 10^{-3}$	Z, %	$\gamma$ , %
АТКФ	<i>Без ингибитора</i>	25	94,0	-	-
	С добавлением АТКФ		4,96	94,7	5,27
	<i>Без ингибитора</i>	70	0,35	-	-
	С добавлением АТКФ		0,011	96,8	3,17
ИК-1	<i>Без ингибитора</i>	25	5,2	-	-
	С добавлением ИК-1		0,2	96,0	3,8
	<i>Без ингибитора</i>	70	4,40	-	-
	С добавлением ИК-1		0,11	97,5	3,2

На основе этих полученных экспериментальных данных для ингибирования процесса коррозии и солеотложения минеральных солей в оборудовании изготовленных из сталей марки Ст.3 и Ст.12 рекомендован синтезированный новый ингибитор ИК-1.



**Рис.1 - Зависимость степени ингибирования Ст.3 и Ст.12 в сернокислотной среде от продолжительности процесса при t=25°C.**

Сопоставляя результатов проведенных исследований по коррозии сталей марки Ст.3 и Ст.12 в растворах серной кислоты найдено высокая эффективность в присутствии ингибитора типа ИК-1. Повышение температуры процесса ингибирования до 70°C существенно не влияют на степени защиты металлов (Ст.3 и Ст.12) (75÷98,0%).

Надо отметить, что при применении импортируемого в республики Узбекистан ингибитора марки Nalco степень защиты при 80°C равен 87,58%.

#### Список использованных источников

1. Вигдорович В.И. Синютина С.Е. Универсальный ингибитор коррозии и наводораживания углеродистой стали Ст.3 в средах содержащих  $H_2S$  и  $CO_2$  // Вестник ТГТУ, 2008, Т14. №1. -С.128-139.
2. Гафуров Р.Р., Кудрявцева И.А. Полвоняк В.К. , Быстрова О.Н. Анализ защитных свойств азот-фосфорсодержащих ингибиторов коррозии стали // Практика противокорр.защиты-2001,№4.-С.14-17
3. Волошин В.Ф.Исследование влияния на электродные процессы четвертичных солей 2-алкилимидазолинов//Вопросы химии и химической технологии.-2003.№5.- С.105-108.
4. А.К.Осербаева, Нуруллаев Ш.П. XXXIII Международная научная конференция «Техноконгресс» Кемерово 2018.С.3-7.

УДК 535.215; 535.3

**Г.И. Омарбекова<sup>1</sup>, А.К. Аймуханов<sup>1</sup>,  
Б.Р. Ильясов<sup>2</sup>, А. М. Мухамеджанова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Карагандинский университет имени Е.А. Букетова,  
Караганда, Казахстан

<sup>2</sup> Astana IT University, Нур-Султан, Казахстан

#### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК $IN_2O_3$**

*Аннотация.* В данной работе для определения влияния температуры отжига на оптические свойства и на ширину запрещенной зоны  $In_2O_3$  были измерены спектры поглощения, пропускания и отражения пленок, отожженных при разных температурах и приведен график Таука (Tauc plot) для определения ширины запрещенной зоны.

**G.I. Omarbekova<sup>1</sup>, A.K. Aimukhanov<sup>1</sup>, B.R. Pyassov<sup>2</sup>,  
A.M. Mukhamedzhanova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Karaganda State University named after Academician E.A. Buketova  
Karaganada, Kazakhstan

<sup>2</sup>Astana IT University, Nur-Sultan, Kazakhstan

#### **EFFECT OF ANNEALING TEMPERATURE ON OPTICAL PROPERTIES OF $IN_2O_3$ FILMS**

*Abstract. In this paper, to determine the effect of the annealing temperature on the optical properties and the band gap width of In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, the absorption, transmission and reflection spectra of films annealed at different temperatures were measured and a Tauc plot was given to determine the band gap width.*

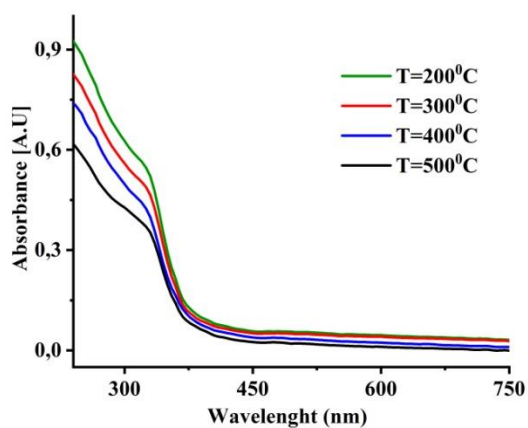
Получение пленок In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> проводилось испарением порошка In (Sigma-Aldrich, powder, 99.99% trace metals basis) методом вакуумного термического осаждения на установке CY-1700x-spc-2 (Zhengzhou CY Scientific Instruments Co., Ltd) и последующим отжигом пленок в атмосфере воздуха при температурах 200°C-500°C в течение часа.

Регистрация спектров поглощения, пропускания и отражения исследуемых образцов осуществлялась на спектрометре AvaSpec-ULS2048CL-EVO (Avantes). В качестве зондирующего излучения использовался комбинированный дейтериево-галогеновый источник света AvaLight-DHc (Avantes) с рабочим спектральным диапазоном 200-2500 нм. Для измерения спектров отражения использовали референсный белый отражатель WS-2 (Avantes).

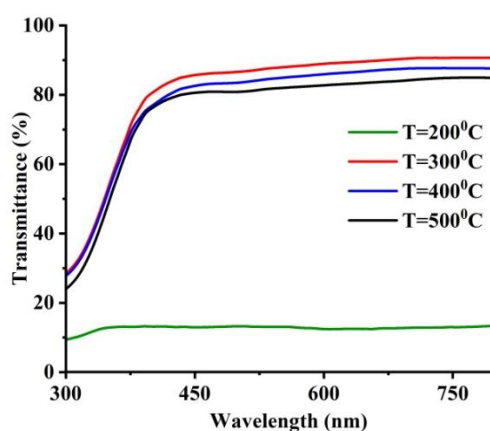
Для определения влияния температуры отжига на оптические свойства In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> были измерены спектры поглощения, пропускания и отражения пленок, отожженных при разных температурах (рис. 1).

Спектр поглощения типичен спектру поглощения широкозонных полупроводников. Край полосы фундаментального поглощения приходится на 312 нм, что соответствует оптическому переходу запрещенной зоны In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Характеристики спектров поглощения пленок In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при разных температурах отжига приведены в таблице 1. Из рисунка видно, что повышение температуры отжига пленок In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 200 °С до 500 °С приводит к уменьшению поглощения в коротковолновой области  $\lambda < 300$  нм в 1,5 раза. В длиноволновой части  $\lambda > 300$  нм уменьшение оптической плотности составило 1,5 раза.

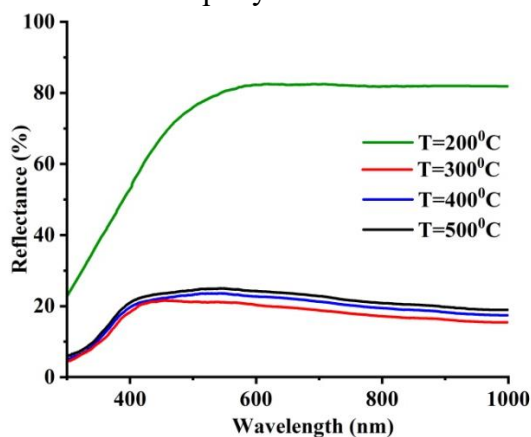
На том же рис. 1 приведены спектры пропускания и отражения пленок In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при разных температурах отжига. Из рисунка видно, что пленка отожженная при T=200 °С очень слабо пропускает свет T<20%, в тоже время у нее высокий коэффициент отражения R~80%. Следует отметить, в этом случае пленка сохраняет свои металлические свойства соответственно отражение можно отнести к зеркальному. При повышении температуры отжига до 300 °С в пленке происходит процесс термического оксидирования [1], в результате чего пленка становится прозрачной в итоге мы наблюдаем возрастание пропускания пленки T~90% и уменьшение отражения R~20%.



Поглощение



Пропускание

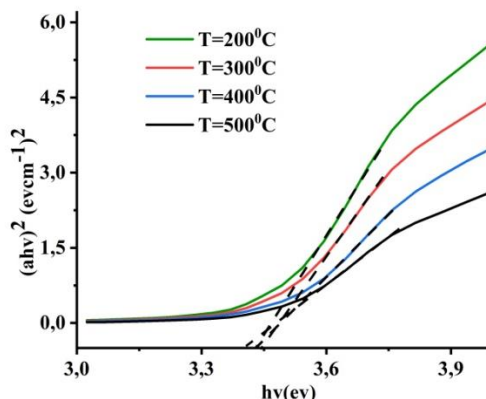


Отражение

**Рис. 1 - Влияние температуры отжига на оптические характеристики пленок  $\text{In}_2\text{O}_3$**

При увеличении температуры отжига свыше  $T > 300$  °С, одновременно с увеличением размеров зерен в пленке, наблюдается постепенное уменьшение пропускания и возрастание отражения R.

Таким образом наблюдаемое уменьшение интенсивности поглощения пленки связано с увеличением рассеяния света на крупных частицах интенсивность которого растет с возрастанием температуры отжига [2].



**Рис. 2 - Влияние температуры отжига на ширину запрещенной зоны  $\text{In}_2\text{O}_3$**

На рис. 2 приведен график Таука (Tauc plot) для определения ширины запрещенной зоны ( $E_g$ )  $\text{In}_2\text{O}_3$ . В таблице 1 приведены значения ширины запрещенной зоны  $\text{In}_2\text{O}_3$  в зависимости от температуры оксидирования. Из таблицы 1 видно, что увеличение температуры оксидирования от 200°C до 300°C приводит к увеличению оптической ширины запрещенной зоны ( $E_g$ ) от 3.43 эВ до 3.45 эВ.

**Таблица 1 - Параметры спектров оптического поглощения пленок  $\text{In}_2\text{O}_3$  при разных температурах отжига**

№	Температура отжига, °C	D, A.U. ( $\lambda=300$ нм)	Band gap, eV
1	200	0.92	3.43
2	300	0.82	3.45
3	400	0.74	3.43
4	500	0.61	3.40

Однако дальнейший рост температуры оксидирования приводит к уменьшению  $E_g$ . Возрастания  $E_g$  связано с уменьшением плотности вакансии кислорода. Согласно исследованиям оксида цинка и других широкозонных оксидов металлов, при высокой плотности вакансии кислорода, дефектные энергетические уровни становятся делокализованными и перекрываются с потолком валентной зоны, что приводит к сужению  $E_g$ . Кроме того, постепенное улучшение кристаллической структуры  $\text{In}_2\text{O}_3$  также влияет на ширину запрещенной зоны  $\text{In}_2\text{O}_3$ . С увеличением температуры отжига,

наблюдается увеличение размера зерен, что в свою очередь приводит к уменьшению суммарной площади границ зерен. Плотность дефектов на границах зерен намного выше, чем в объёме зерен и, следовательно, уменьшение плотности границ зерен приводит к уменьшению плотности дефектов являющимися центрами захватов электронов. Все это приводит к увеличению концентрации свободных электронов в зоне проводимости, что в свою очередь приводит к увеличению  $E_g$  из эффекта Бурштейна-Мосса [3]. Тем не менее, дальнейший рост температуры окисления, возможно, приводит к переизбытку кислорода на поверхности и образованию вакансии индия, что может приводить к наблюдаемому уменьшению  $E_g$ .

### Список использованных источников

1. W. Huang, B. Zhu, Sh.Y. Chang, Sh. Zhu, P.Cheng, Y.T. Hsieh, L. Meng, R. Wang, Ch. Wang, Ch. Zhu, Ch. R. McNeill, M. Wang, Y. Yang, Nano Lett., 2018, DOI: 10.1021/acs.nanolett.8b02452
2. Mihaela Girtan, Materials Science and Engineering B 118 (2005) 175–178 DOI:[10.1016/j.mseb.2004.12.075](https://doi.org/10.1016/j.mseb.2004.12.075)
3. Qian Ma, He-Mei Zheng, Yan Shao, Bao Zhu, Wen-Jun Liu\* , Shi-Jin Ding\* and David Wei Zhang, Nanoscale Research Letters (2018) 13:4, DOI 10.1186/s11671-017-2414-0

УДК 541.183.

**А.С. Панасюгин<sup>1,2</sup>, А.Р. Цыганов<sup>2</sup>, В.А. Ломоносов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет,

<sup>3</sup>НПЦ по материаловедению НАН Беларуси

Минск, Беларусь

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКРАНОВ ЭМИ ПОГЛАЩЕНИЯ

*Аннотация.* Исследованы абсорбционные характеристики шунгитового порошка для экранов ЭМ поглощения. Показано, что частицы шунгита размерами  $2 < d_{cp} < 5$  мкм в области частот 27-37 ГГц обладают высокими значениями параметра отражения ЭМИ (до 65 % от исходной мощности источника электромагнитных волн). Отмечено, что с ростом частоты электромагнитного воздействия коэффициент поглощения увеличивается от 24 до 35 единиц, соответственно.



**A.S. Panasyugin<sup>1,2</sup>, A.R. Tsyganov<sup>2</sup>, V.A. Lomonosov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University,

<sup>3</sup>SPC for Materials Science of the NAS of Belarus  
Minsk, Belarus

## **INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF MATERIALS FOR EMR ABSORPTION SCREENS**

***Abstract.** The absorption characteristics of shungite powder for EM absorption screens are investigated. It is shown that shungite particles with a size of 2-5 microns in the frequency range of 27-37 Hz have high values of the EMR reflection parameter (up to 65% of the initial power of the electro-magnetic wave source). It is noted that with an increase in the frequency of electromagnetic exposure, the absorption coefficient increases from 24 to 35 units, respectively.*

**ВВЕДЕНИЕ.** Окружающая человека среда в прямом смысле уже пронизана электромагнитными излучениями (ЭМИ), из которых наибольшую опасность представляют ЭМИ с диапазоном частот используемых радио- и телевещательными станциями, излучения телефонов сотовой связи и мониторов ПЭВМ. Уже в 70-х годах появились сообщения, что длительные воздействия модулированного сигнала на мозг человека приводят к серьезным расстройствам его нервной системы. Подобная симптоматика зарегистрирована в большинстве стран, где мобильная связь получила широкое распространение.

Следует также учесть, что эти ЭМ-поля, являются модулированными, т.е. изобилуют инфра-низкими частотами, а этот диапазон, как было доказано экспериментально, поражает центральную нервную систему. Кроме того еще один вид воздействия на человека (привносимых сотовой связью) являются локальные тепловые эффекты, то есть повышение температуры кожи и барабанной перепонки. В связи с этим, изучение возможных средств защиты от данных излучений, становится весьма актуальной задачей.

В этом смысле перспективным видится использование шунгита в качестве экранирующего фактора. Специфическая структура самого шунгита, а также наличие в составе минерала углерода C<sub>60</sub> (фуллерена со своим уникальным строением), позволяет говорить о более высокой эффективности его использования в качестве защитного элемента от негативного воздействия ЭМИ на организм человека [1].

На основе шунгитовых пород уже созданы ряд экранирующих ЭМИ абсорберов, и все они являются композиционными, так как помимо шунгитового наполнителя включают другие компоненты,

например: штукатурные растворы и мастики, позволяющие переоборудовать обычные строительные сооружения в экранированные. Мастики способны обеспечить экранирующий эффект на уровне не менее 30дБ. в диапазоне свыше 30 МГц при толщине слоя в 2-3 см.

Однако, несмотря на большие достижения и многообразие разработок в этой области, эффективный ЭМИ абсорбер еще не создан. В связи с чем и дальше остается необходимость изучать факторы, способствующие улучшению функциональных характеристик уже имеющихся материалов, и возможности получения новых конструкторских решений.

#### **Методы исследований**

В проведенных исследованиях использовали дифрактометр ДРОН-3 (Cu-K $\alpha$ -излучение), рентгенофлуорисцентный микроанализатор Inca Energy 350 (Oxford Instruments, Англия) и сканирующий электронный микроскоп Vega II LMV (Tescan, Чехия).

Коэффициент затухания ЭМ-волны находили путем измерения коэффициента отражения на основе применения измерительной линии, представляющей собой отрезок линейной передачи ЭМИ с узкой щелью, прорезанной вдоль оси волновода. Через щель внутрь волновода помещали электрический зонд, соединенный с детектором и передвигаемый вдоль щели с помощью каретки. Измерение коэффициента стоячей волны (модуля коэффициента отражения,  $K_{ст}$ ) находили по отношению максимума ( $E_{max}$ ) к минимуму ( $E_{min}$ ) величины электрического поля по формуле:

$$K_{ст} = E_{max} / E_{min}. \quad (1)$$

Модуль коэффициента отражения ( $\Gamma$ ) рассчитывали с использованием полученных значений  $K_{ст}$  в соответствии с выражением:

$$\Gamma = (K_{ст} - 1) / (K_{ст} + 1). \quad (2)$$

Измерения экранирующих свойств порошка шунгита проводились в диапазоне частот 8÷11,5 ГГц. Данный диапазон частот был выбран с учетом дальнейшего применения исходного материала.

Параметры удельной поверхности определялись по низкотемпературной сорбции азота с использованием комплексного измерителя удельной поверхности и пористости дисперсных материалов "СОРБИ-MS" (расчеты проводились по методам BET и STSA).

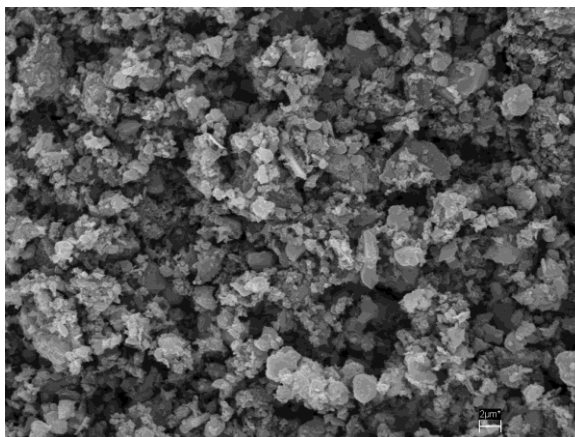
**Определение экранирующих свойств шунгитового порошка.**

Минерал шунгит, как правило, имеет в основе своей каркас из графитоподобного глобулярного углерода с частицами оксида кремния и содержит небольшие количества оксидов различных металлов, кристаллизационную воду и серу [2]. Благодаря пористому строению он является одним из востребованных для создания микроструктурированных матриц в электронной техники путем синтеза и/или внедрения металлических кластеров на поверхности и внутри его гранул [3]. Это позволяет получать материал с требуемыми электрическими и магнитными характеристиками, которые важны и при создании ЭМ экранов. Следует подчеркнуть, что техническое использование шунгита определяются не столько его элементным и фазовым составом, сколько сложной пористой структурой минерала, масштабное многообразие которой меняется от долей нанометра до десятков микрон. В объеме матрицы каждый следующий уровень формируется из элементов предшествующего уровня путем объединения в структуры с фрактальными свойствами. Минимальные по размеру элементы ( $\leq 1$  нм) представляют собой сборки из фрагментов графена, а также замкнутые однослойные (фуллерены) и многослойные углеродные оболочки [4]

Для приготовления образцов в виде пластин размерами  $7 \times 3 \times 1$  мм исходным материалом служил измельченный шунгит взятый из Зажогинского месторождения (Карелия, Россия), содержащий по весу до 40 % углеродного компонента, до 30 % оксида кремния и железосодержащих минералов, а также небольшие количества других соединений.

Плотность породы шунгита составляет  $\rho_{sh} = 2.1-2.4$  г/см<sup>3</sup>, пористость и удельная поверхность характеризуются величинами  $\Phi_p = 5$  % и  $S_g = 20$  м<sup>2</sup>/г (соответственно). В расчете на единицу объема породы площадь поверхности пор равна  $S_{sh} = S_g \rho_{sh} = 45$  м<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>. Микроструктура мелкодисперсного порошка шунгита представлена на рис.1.

Как видно из рис. 1, размер частиц порошка составляет не более 2 мкм. Сами частицы представляли собой рыхлые конгломераты. Проведенные исследования по высокочастотному электромагнитному взаимодействию шунгитового порошка проиллюстрированы на рисунке 2.



**Рис. 1. Изображение микроструктуры измельченного шунгита.**

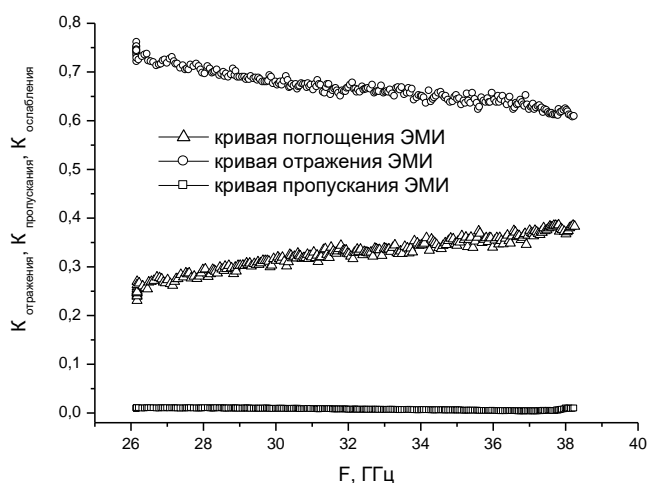
Как можно видеть, отражающие характеристики материала составляют более 60 % от общей энергии падающей волны и проявляют тенденцию к уменьшению с ростом частоты от 27 до 37 ГГц. В то же время наблюдается увеличение значений коэффициента поглощения ЭМИ, при неизменных показаниях амплитуды прошедшей волны. Средний диапазон ослабления электромагнитного воздействия составляет от 87 до 93 %.

Таким образом, мелкодисперсный шунгит из-за своей структуры и, в первую очередь, своего сложного химического состава (наличия уникальной углеродной составляющей) одновременно обладает электропроводящими свойствами и обеспечивает диэлектрические потери в объеме вещества, тем самым уже относится к перспективным материалам для использования его как компонента экранов электромагнитной защиты.

#### **Изготовление жидко-силикатной композиции с наполнителем из шунгита.**

В связи с этим, следующим этапом исследования явилось получение образцов в виде плитки и панели из вспененной жидко-силикатной композиции обладающей высокими тепло- и шумо-изоляционными свойствами.

С целью расширения области применения данного материала, в частности, как экран для защиты от электромагнитных излучений, исследовали возможность совмещения данного состава с наполнителем из углеродсодержащего минерала. Таким (как указывалось выше) перспективным наполнителем является измельченный шунгит.



**Рис. 2 - Зависимости коэффициента отражения, коэффициента пропускания и коэффициента поглощения шунгитового образца от частоты**

Он и раньше использовался в качестве модифицирующей активной добавки при производстве композиционных материалов для улучшения их механо-физических характеристик.

Полученная плитка представлена на рис. 3.



**Рис. 3. Изготовленная пеносиликатная плитка с наполнителем из шунгитового порошка.**

На этой плитке и проводились исследования по определению влияния материала на изменение (ослабление) электромагнитного излучения проходящего через нее. Для измерения экранирующих свойств экспериментальных образцов использовался измерительный комплекс, состоящий из генератора РГ4-14, индикатора Я2Р-70, волноводной линии и рупорных антенн, включенных в разрыв

волноводного тракта. Определение коэффициента передачи (затухания или усиления) основано на измерении мощностей на входе  $P_{вх}$  и выходе  $P_{вых}$  измеряемого устройства и вычислении модуля по формуле:

$$\alpha = 10 \lg(P_{вх}/P_{вых}). \quad (3)$$

Было отмечено, что величина интенсивности ЭМИ после его прохождения через композитный материал снижалась от 5 до 11%.

**Выводы** Определены характеристики минерала шунгита по его способности к поглощению/отражению электромагнитного излучения. Порошок шунгита ( $2 < d_{ср} < 5$  мкм) характеризуется высоким значением параметра отражения ЭМИ (до 65 % от исходной мощности источника электро-магнитных волн) в области частот 27-37 ГГц, при этом с ростом частоты электромагнитного воздействия коэффициент поглощения увеличивается от 24 до 35 единиц, соответственно.

На основе композиции с шунгитовым наполнителем изготовлена экспериментальная плитка размерами 120×190×20 мм. и на ней исследованы экранирующие ЭМИ свойства материала. Установлено, что интенсивность электромагнитного излучения уменьшается на 7-11 %. Показано, что шунгитовый порошки могут быть использованы как наполнители при изготовлении материала покрытий (типа панели, плитки и т.д.) или заполняющих растворов обладающих экранирующими электромагнитное излучение свойствами.

### Список использованных источников

1. Шунгитовые радиоэкранирующие материалы // Компания ChemProm [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.promc.ru/shungit/radioshield.htm>. - Дата доступа: 18.09.2006.
2. Панасюгин А.С., Цыганов А.Р., Ломоносов В.А., Григорьев С.В и др./ Исследование структуры и физических свойств шунгитовых пород// Литье Украины, 2015, №2, с.11-14.
3. M.V. Avdeev, T.V. Tropin, V.L. Aksenov, L. Rosta, V.M. Garamus. Pore structures in shungites as revealed by small-angle neutron scattering.// Carbon . 2006. №44, P.954–961.
4. Ломоносов В.А., Цыганов А.Р., Панасюгин А.С., Новицкая М.В./ Получение и физико - механические свойства вспененного теплоизоляционного материала на основе щелочно - силикатной композиции и шунгита// Литье и металлургия 2015., № 3 63-67.

УДК 541.183.

**А. С. Панасюгин<sup>1</sup>, Н. Д. Павловский<sup>2</sup>,  
Н. П. Машерова<sup>3</sup>, А. Р. Цыганов<sup>3</sup>, И.И. Курило<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск

<sup>2</sup>Гродненский государственный медицинский университет, г. Гродно,

<sup>3</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск,  
Беларусь

## **ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПАРОВ РАСТВОРИТЕЛЯ 647 АДСОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

*Аннотация.* Целью данной работы является изучение процесса нейтрализации паров смесового растворителя марки 647 адсорбционно-каталитическим методом. Сущность метода состоит в концентрировании компонентов растворителя на сорбенте, термической десорбции с последующим периодическим беспламенным каталитическим окислением накопленных органических веществ до диоксида углерода и воды. В качестве сорбента был использован синтетический цеолит марки NaX, в качестве катализатора – пористый материал на основе пенокерамики состава  $Al_2O_3/SiO_2$  с высококоразвитой модифицированной поверхностью с нанесенной активной каталитической фазой.

**A.S. Panasyugin<sup>1</sup>, N.D. Pavlovskiy<sup>2</sup>,  
N.P. Masherova<sup>3</sup>, A.R. Tsyganov<sup>3</sup>, I.I. Kurilo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk,

<sup>2</sup>Grodno State Medical University, Grodno,

<sup>3</sup>Belarusian State Technological University, Minsk,  
Belarus

## **NEUTRALIZATION OF SOLVENT VAPORS OF BRAND 647 BY THE ADSORPTION-CATALYTIC METHOD**

*Abstract.* The purpose of this work is to study the process of neutralization of vapors of a mixed solvent of the brand 647 by the adsorption-catalytic method. The essence of the method consists in the concentration of solvent components on the sorbent, thermal desorption followed by periodic flameless catalytic oxidation of accumulated organic substances to carbon dioxide and water. Synthetic zeolite of the NaX brand was used as a sorbent, and a porous material based on  $Al_2O_3/SiO_2$  foam ceramics with a highly developed modified surface with an active catalytic phase applied was used as a catalyst.

**Введение.** На сегодняшний день растворитель Р647 входит в перечень самых популярных и распространенных составов. Его особенность заключается в том, что в составе отсутствует

этилцеллюлоза и ацетон, благодаря чему раствор считается более щадящим и его можно использовать при очистке пластиковых поверхностей. Растворитель Р647 широко используют при окрашивании автомобильного транспорта, поскольку его можно применять совместно и с нитролаками, и с нитроэмалью. Он также применяется для увеличения вязкости веществ, в составе которых присутствует нитроцеллюлоза. Данный разбавитель не влияет разрушающе на материалы, которые не переносят активного воздействия химических компонентов, среди них и изделия из пластика. Широкомасштабное применение растворителя Р647 в технологических процессах промышленной окраски автотракторной техники ставит задачу по очистке газовых выбросов от компонентов растворителя.

Целью данной работы являлось изучение процесса нейтрализации паров смесового растворителя марки 647 (ГОСТ 18188-72)<sup>2</sup> адсорбционно-каталитическим методом.

### Методика эксперимента

Для решения поставленной задачи в качестве сорбента был выбран синтетический цеолит марки NaX, представляющий собой сферические гранулы диаметром 2,5-3,5 мм. В качестве катализатора глубокого окисления использовали пористые материалы с высокоразвитой модифицированной поверхностью на основе пенокерамики состава  $Al_2O_3/SiO_2$  с нанесенной активной каталитической фазой, имеющие на поверхности пенокерамики сформированный буферный слой, содержащий 11,1 мас. %  $\gamma-Al_2O_3$  и обладающие удельной поверхностью 15,6 м<sup>2</sup>/г [1, 3].

Схема модельной установки нейтрализации паров адсорбционно-каталитическим методом, принцип ее работы детально описаны в работе [1]. Алгоритм работы установки основан на полициклическом принципе:

- 1 – цикл адсорбции паров органических соединений на поверхности сорбента;
- 2 – цикл термической десорбции паров органических соединений в адсорбционном реакторе;
- 3 – цикл глубокого каталитического окисления паров органических веществ.

---

<sup>2</sup> ГОСТ 18188-72 Растворители марок 645, 646, 647, 648 для лакокрасочных материалов. Технические условия



Для измерения скорости движения газового потока использовали дифференциальный манометр Testo 512 и датчик скорости движения воздуха Testo 425 производства Германии.

Определение концентрации органических веществ осуществлялось с помощью газового хроматографа «Цвет-106», оснащенного пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Интерпретацию полученных хроматограмм производили с использованием программы «Мультихром 1.39».

Процесс адсорбции проводили до проскока 10 % суммарного состава всех компонентов растворителя.

Компонентный состав растворителя марки 647 представлен тремя классами органических веществ: арены (толуол), сложные эфиры (бутилацетат, этилацетат), алканола (этанол). Порядок выхода компонентов смесового растворителя марки 647 и степень конверсии определяли на основании дискретных значений, полученных при анализе газовых проб, которые отбирали с интервалом в 1 минуту.

Полноту каталитического окисления органических соединений оценивали по показателям газоанализатора Dräger MSI 150 EURO, который оснащен датчиками, позволяющими оценить количественное и качественное содержание в составе газовых выбросов CO и CO<sub>2</sub>.

Степень конверсии ( $S_c$ ) после десорбции газов из сорбционной колонки прохождения через каталитический реактор определяли по формуле

$$S_c = \frac{C_n - C_k}{C_n} \times 100\%$$

где  $C_n$  – концентрация паров загрязняющих веществ на входе в каталитический реактор и  $C_k$  – концентрация паров загрязняющих веществ на выходе из каталитического реактора.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Адсорбция

Ранее было установлено, что оптимальными условиями проведения сорбционного процесса является высота слоя сорбента не более 20 см, при загрузке в реактор с диаметром 40 мм и высотой 250 мм 275-ти граммов цеолита NaX [1].

Состав растворителя Р647 представлен четырьмя компонентами: толуол -41,3%, бутилацетат -29,8%, этилацетат -21,2%, бутанол -7,7%. Сорбционные характеристики цеолита NaX по отношению к компонентам растворителя Р647 приведены в таблице 1. Компоненты имеют близкие значения плотности, температур кипения за исключением этилацетата. Бутилацетат, имеющий наибольший размер посадочной площадки среди компонентов, характеризуется

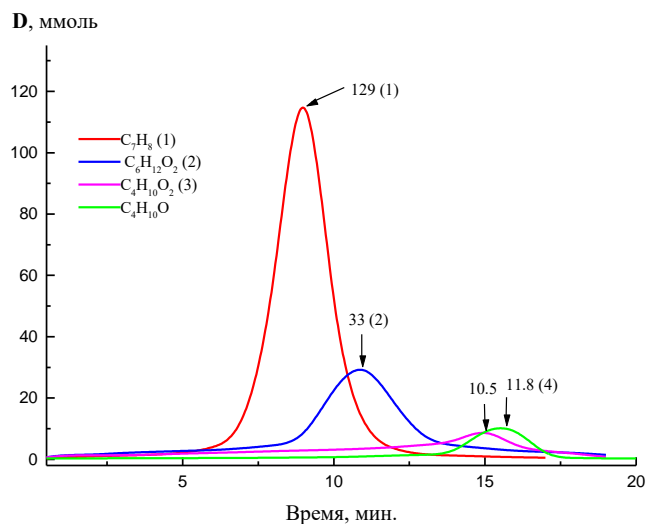
наименьшим сорбционным объёмом. Как известно, в ряду гомологов с увеличением размеров молекул растут размеры посадочных площадок и закономерно снижается сорбционный объём [1-3], что видно при сравнении сорбционных объёмов и размеров посадочных площадок бутилацетата и этилацетата, так при переходе от этилацетата к бутилацетату размер посадочной площадки увеличивается в 1,267 раз, а сорбционный объём снижается в 1,552 раза. Бутанол-1, имеющий близкий этилацетату размер посадочной площадки, характеризуется существенно меньшим значением сорбционного объёма, что объяснимо более рыхлой упаковкой молекул с объёмными радикалами.

**Таблица 1. Физико-химические свойства компонентов растворителя Р647 и сорбционные характеристики цеолита NaX по отношению к компонентам растворителя Р647.**

№ п/п	Адсорбат	Формула	Т <sub>кип</sub> , °С	плотность, ρ г/см <sup>3</sup>	Молярная масса, М	Сорбционный объём, V <sub>s</sub>		Посадочная площадь ω, нм <sup>2</sup>
						ммоль / 275г	мг/275г	
1	толуол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	110,6	0,867	92,14	778,25	71582,5	0,355
2	бутилацетат	CH <sub>3</sub> COOC <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	126,0	0,88	116,16	289,0	33524	0,413
3	этилацетат	CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	77,0	0,902	88,10	591,25	52030	0,326
4	бутанол-1	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	117,7	0,8098	74,12	393,25	29095	0,323

### *Десорбция*

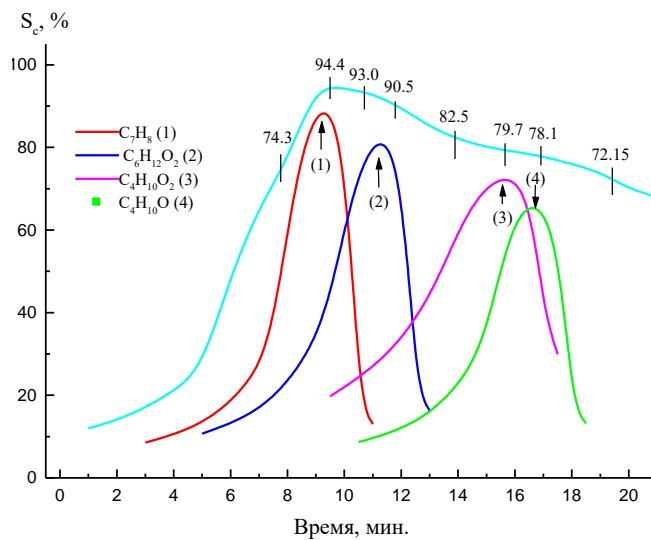
В процессе выполнения экспериментов установлено, что десорбция паров компонентов растворителя Р647 протекает в течение 19 минут (рис.1). Десорбция компонентов проходит в порядке увеличения полярности адсорбатов: для наименее полярного толуола максимум десорбции наступал после 9-й минуте процесса, у бутилацетата максимум десорбции наступал к 11-й минуте, у более полярных этилацетата и бутанола-1 – на 15-й и 16-й минутах соответственно.



**Рис. 1 - Выходные кривые десорбции компонентов растворителя Р647, где 1-толуол, 2-бутилацетат, 3- этилацетат, 4-бутанол-1.**

**Конверсия**

Десорбция паров компонентов растворителя Р647 протекает практически одновременно с процессом каталитического окисления и заканчивается в течение 19 минут (рис. 2).



**Рис. 2 - Выходные кривые конверсии компонентов растворителя Р647, где 1 - толуол, 2 - бутилацетат, 3 – этилацетат, 4 – бутанол-1.**

Из кривых конверсии (рис.2) видно, что на всем этапе протекания процесса нейтрализации компонентов, степень их конверсии остается достаточно высокой (72,15-94,4 %), несмотря на то, что концентрации, поступающие в каталитический реактор на заключительной стадии термодесорбции, имеют достаточно низкие значения. Максимальные степени конверсии компонентов достигались в интервале времени, соответствующему максимальной десорбции.

#### **Список использованных источников**

1. Панасюгин, А. С. Использование адсорбционно-каталитического метода для очистки вентиляционных выбросов формовочных участков литейных цехов от паров фенола и формальдегида / А. С. Панасюгин, В. А. Ломоносов, О. Л. Сморяго // Литье и металлургия. – 2014. - № 2. - С. 19 - 25.
2. Панасюгин, А. С. Использование адсорбционно-каталитического метода для очистки 3.вентиляционных выбросов, образующихся при использовании азотсодержащих формовочных смесей/ А. С. Панасюгин, В. А. Ломоносов, О. Л. Сморяго // Литье и металлургия. – 2014. - № 2.- С.26 - 29.
3. Панасюгин, А. С. Обезвреживание паров одноатомных спиртов C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> адсорбционно-каталитическим методом// А. С. Панасюгин и [ др.] // Литье Украины. – 2017. - № 7. - С. 2 - 8.

УДК 541.13

**А.В. Поспелов**

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Беларусь

### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА РАСТВОРИМОСТЬ ОЗОНА**

*Аннотация.* В работе получена зависимость растворения озона в воде от ее температуры. В результате исследований установлено, что растворимость озона в воде, с температурой 10°C, выше чем в воде, с температурой 20°C, на 13,6%. Данные исследования являются необходимыми для разработки новых технологий дезинфекции.

## **INFLUENCE OF WATER TEMPERATURE ON OZONE SOLUBILITY**

***Abstract.** The paper obtained the dependence of ozone solubility in water on its temperature. As a result of the research the solubility of ozone in water with a temperature of 10°C was found to be 13.6% higher than in water with a temperature of 20°C. These studies are necessary for the development of new disinfection technologies*

Озон является отличным окислителем, и благодаря его способности убивать почти все виды бактерий и вирусов, он широко используется для дезинфекции. Его окислительный потенциал (2,07 мВ) в 1,5 раза выше, чем у хлора, ниже, чем у фтора (3,06 мВ). Учитывая высокие окислительные характеристики и эффективность озона как дезинфицирующего и противомикробного агента, он вызвал большой интерес в пищевой промышленности и при водоподготовке [1].

Озон из-за его большей эффективности может использоваться как альтернатива хлору; его быстрое разложение на кислород и отсутствие остатков являются важными преимуществами [2]. А также известно, что озон обладает меньшей коррозионной активностью, чем хлорсодержащие дезинфицирующие среды [3, 4].

Озон можно использовать в виде газа или растворять в воде, а присутствие воды увеличивает его реакционную способность и может улучшить результаты. С другой стороны, его низкая стабильность в водной среде (период полураспада от 20 до 30 минут) накладывает ограничение на его использование [5].

Эффективность озонирования зависит от процесса введения (растворимость газа) и поддержания (снижение скорости разложения) газа в воде, что напрямую связано с временем растворения, а также с температурой воды. Высокие температуры увеличивают скорость разложения и снижают его растворимость в воде [2].

Цель данного исследования состояла в том, чтобы проанализировать влияние температуры воды на растворимость озона.

Для исследований использовалась водопроводная вода. Температура воды составляла 10°C и 20°C.

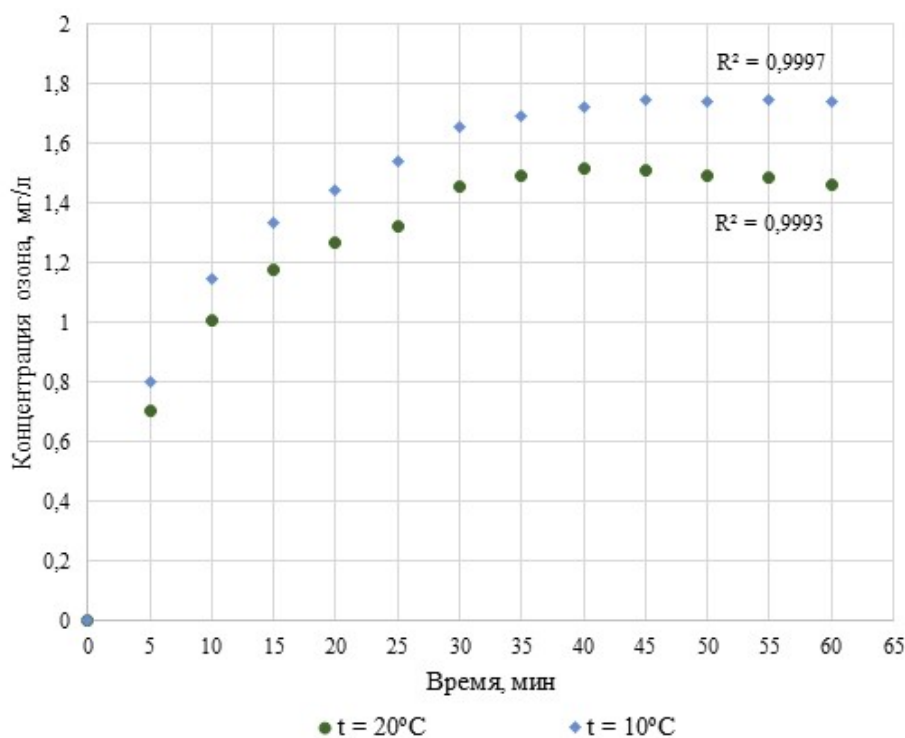
Условия озонирования воды: расход газовой смеси – 20 дм<sup>3</sup>/мин; производительность по озону – 1 г/ч. Время насыщения

озоном и его концентрация в воде определялись путем нагнетания газа (барботажа) в объем водопроводной воды – 1000 мл. Озон вводили и количественно определяли через 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 и 60 минут.

Газообразный озон генерировался путем пропускания газозоообразной смеси через генератор озона. Внутри устройства газозоообразная смесь подвергалась диэлектрическому разряду, который создавался между двумя параллельными электродами, разделенными диэлектрическим элементом (стеклом), и свободным пространством для прохождения сухого воздуха. В этом свободном пространстве генерировались электроны с достаточной энергией, чтобы разрушать молекулы кислорода, образуя озон.

Концентрация озона в воде была определена количественно с использованием метода Индиго.

На рис.1 представлена зависимость влияния температуры вода на растворимость озона.



**Рис.1 – Влияние температуры воды на растворимость озона**

В результате проведенных исследований установлено, что растворимость озона в воде, с температурой 10°C, выше чем в воде, с температурой 20°C. В среднем разница растворимости озона в воде при исследуемых температурах составила 13,6%.

Более высокое содержание озона может привести к большей эффективности дезинфекции поверхностей.

#### **Список использованных источников**

1. Romanovski, V. Comparison of different surface disinfection treatments of drinking water facilities from a corrosion and environmental perspective / V. Romanovski, P.M. Claesson, Y.S. Hedberg // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – №27(11). – P. 12704–12716.

2. Романовский, В.И. Технические аспекты использования озона в водоподготовке / В.И. Романовский [и др.]. // Вода magazine. – 2016. – №2(102). – С. 36–41.

3. Поспелов, А.В. Коррозия нержавеющей стали в хлорсодержащих дезинфицирующих растворах / А.В. Поспелов [и др.]. // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2021. – № 2 (125). – С. 63-65

4. Romanovski, V. Inappropriate Cleaning Treatments of Stainless Steel AISI 316L Caused a Corrosion Failure of a Liquid Transporter Truck / V. Romanovski, V. Frantskevich, V. Kazlouski, A. Kasach, A. Paspelau, Y. Hedberg, E. Romanovskaia // Engineering Failure Analysis. – 2020. – V. 117. – pp. 104938.

5. EL-DESOUKY, T. A.; SHAROVA, A. M. A.; EL-DESOUKY, A. I.; EL-MANSY, H. A.; NAGUIB, K. Effect of ozone gas on degradation of aflatoxin B1 and aspergillus flavus fungal. Journal of Environmental and Analytical Toxicology, v. 2, p. 1-6, 2012.

УДК 541.138.2

**А.В. Поспелов**

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Беларусь

### **ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОРРОЗИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МАРКИ СТ 3 В ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ РАСТВОРАХ И В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ОЗОНА**

*Аннотация.* В работе представлена степень повреждения поверхности стали марки Ст 3 в хлорсодержащих дезинфицирующих растворах и водном растворе озона. Установлено, что наибольшая степень повреждения поверхности

наблюдается при дезинфекции гипохлоритом натрия, наименьшая степень повреждения поверхности – при дезинфекции водным раствором озона.

**A.V. Pospelov**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **INTEGRAL CORROSION INDEXES OF CARBON STEEL GRADE ST 3 IN CHLORINE-CONTAINING DISINFECTANT SOLUTIONS AND IN AQUEOUS OZONE SOLUTION**

***Abstract.** The paper presents the degree of damage to the surface of steel grade St 3 in chlorine-containing disinfectant solutions and in aqueous ozone solution. It has been found that the greatest degree of surface damage is observed when disinfecting with sodium hypochlorite, the least degree of surface damage - when disinfecting with aqueous ozone solution.*

В настоящее время, для дезинфекции рабочих поверхностей используются хлорсодержащие водные растворы: гипохлорита натрия и кальция, хлорамина Б, хлорной извести. Одним из основных недостатков, приведенных хлорсодержащих дезинфицирующих средств, является высокая коррозионная активность, что может приводить к повреждению поверхности обрабатываемого изделия. В качестве альтернативы применения хлорсодержащих растворов используется озон [1–4].

Коррозионная стойкость металлов характеризуется количественными показателями, выбор которых определяется видом коррозии и эксплуатационными требованиями.

При сплошной коррозии и коррозии пятнами основными интегральными показателями являются «степень повреждения поверхности» и «потеря массы на единицу площади» [5].

Цель исследований заключалась в определении интегральных показателей коррозии углеродистой стали в дезинфицирующих растворах.

Для определения степени повреждения и потери массы использовали углеродистую сталь марки Ст 3. Элементный химический состав марки Ст 3 приведен в таблице.

**Таблица – Химический состав углеродистой стали марки Ст 3**

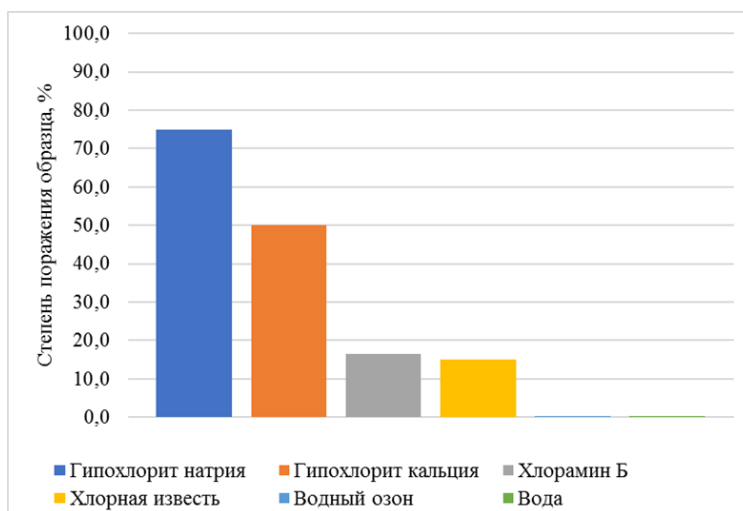
Марка стали	Содержание элементов, мас.%									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Fe
Ст 3	0,157	0,340	0,204	0,051	0,058	0,060	0,013	0,026	0,027	ост.



В качестве дезинфицирующих средств применялись растворы гипохлорита кальция, гипохлорита натрия, хлорамина Б, хлорной извести и водный раствор озона. Исследуемые концентрации используемых хлорсодержащих дезинфицирующих растворов: 2% активного хлора.

Условия озонирования воды: расход газовой смеси – 20 дм<sup>3</sup>/мин; производительность по озону – 1 г/ч. Обработку воды проводили в течение 20 минут. Объем обрабатываемой воды – 1000 мл. Концентрация озона в воде составляла 2,1 мг/дм<sup>3</sup>.

Результаты определения степени повреждения поверхности стали марки Ст 3 в хлорсодержащих дезинфицирующих растворах и водном растворе озона представлены на рис. 1.

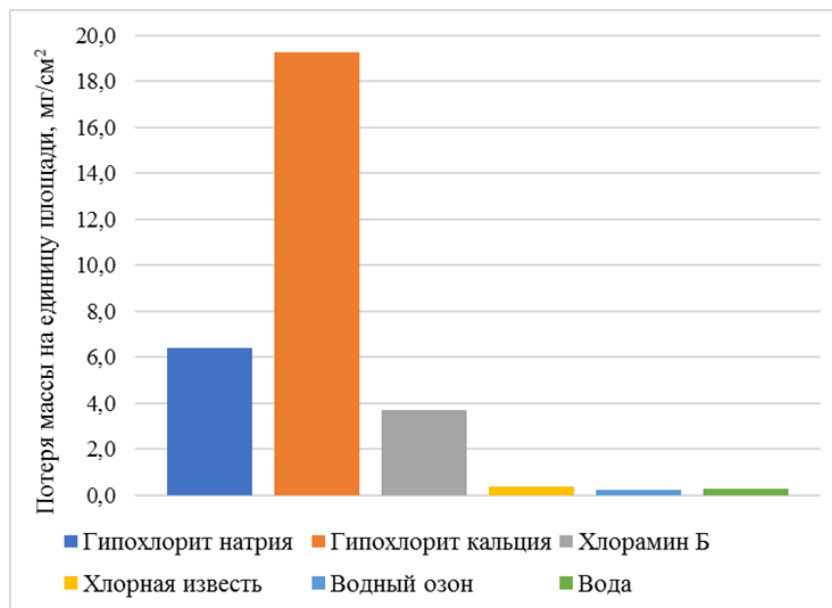


**Рис. 1 – Степень повреждения поверхности стали марки Ст 3**

Результаты определения потери массы на единицу площади стали марки Ст 3 в хлорсодержащих дезинфицирующих растворах и водном растворе озона представлены на рис. 2.

В результате проведенных исследований установлено, что наибольшая степень повреждения поверхности наблюдается при дезинфекции гипохлоритом натрия, наименьшая степень повреждения поверхности наблюдалась при дезинфекции водным раствором озона.

Наибольшее значение потери массы на единицу площади стали марки Ст 3 составило при применении гипохлорита кальция, наименьшее значение – водным раствором озона.



**Рис. 2 – Потеря массы на единицу площади марки стали Ст 3**

С точки зрения оценки коррозионной стойкости углеродистой стали марки Ст 3, использование водного раствора озона, в качестве дезинфицирующего средства, является приоритетным.

#### **Список использованных источников**

1. Поспелов, А.В. Коррозия нержавеющей сталей в хлорсодержащих дезинфицирующих растворах / А.В. Поспелов [и др.]. // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2021. – № 2 (125). – С. 63-65
2. Romanovski, V. Inappropriate Cleaning Treatments of Stainless Steel AISI 316L Caused a Corrosion Failure of a Liquid Transporter Truck / V. Romanovski, V. Frantskevich, V. Kazlouski, A. Kasach, A. Paspelau, Y. Hedberg, E. Romanovskaia // Engineering Failure Analysis. – 2020. – V. 117. – pp. 104938.
3. Романовский, В.И. Технические аспекты использования озона в водоподготовке / В.И. Романовский [и др.]. // Вода magazine. – 2016. – №2(102). – С. 36–41.
4. Romanovski, V. Comparison of different surface disinfection treatments of drinking water facilities from a corrosion and environmental perspective / V. Romanovski, P.M. Claesson, Y.S. Hedberg // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – №27(11). – P. 12704–12716.

5. ГОСТ 9.908 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.

УДК 004:[321+316.3]

**В.Е. Пузатко**

Академия управления при Президенте Республики Беларусь  
Минск, Республика Беларусь

## **РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОБЩЕСТВА И ГОСУДАРСТВА**

*Аннотация.* В работе рассматриваются проблемы взаимодействия государства с молодым поколением, которое уделяет первостепенное значение социальным сетям. Недоработки со стороны политиков и госслужащих к современным тенденциям негативно сказывается на уровне доверия и взаимодействия с населением.

**V.E. Puzatko**

Academy of Management under the President of the Republic of Belarus  
Minsk, Republic of Belarus

## **THE ROLE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE INTERACTION OF SOCIETY AND THE STATE**

*Abstract.* The paper examines the problems of interaction between the state and the younger generation, which attaches primary importance to social networks. Shortcomings on the part of politicians and civil servants to modern trends negatively affect the level of trust and interaction with the population.

Информационные технологии — это современное достижение человечества. Новое время диктует новые правила: онлайн-коммуникация, дистанционная работа и учеба, интернет-магазины и гигабайты доступной информации. Такая цифровизация повышает качество жизни, упрощает выполнение многих задач и позволяет экономить время. Однако она же разрушает сложившийся уклад взаимоотношений людей и, кроме того, нарушает конституционно-правовой баланс их интересов. “Это обусловлено тем, что цифровизация коренным образом изменяет характер взаимоотношений личности и общества — традиционная коммуникация между людьми ослабевает,

замещается коммуникацией, которая осуществляется с помощью информационных технологий” [2, с. 82].

Юное поколение и вовсе не видит мира офлайн. Современные игры, обучение и друзья поселились в виртуальном мире. Эти примеры заставляют говорить о киберсоциализации. Если ранее никто не задумывался о влиянии нового вида общения и оно считалось безопасным, то сегодня актуально говорить о том, как правильно вести себя в социальной сети, и государства по всему миру разрабатывают правовое поле в этой сфере и принимают определенные законы.

«Опыт цифровизации системы государственного управления в других странах показывает высокий уровень спроса у населения на электронное взаимодействие с государственными органами. Один из популярных и эффективных способов взаимодействия с гражданами представляют социальные сети. Данный способ дает возможность оперативно получать обратную связь с населением для более качественного принятия политических и управленческих решений» [1, с. 490].

Социальные сети — это не просто приложения для общения и обмена мнениями, это новый инструмент управления и неотъемлемая часть современной жизни. Уже говорят о VR-общении и новом формате сети, где будут виртуальные магазины и не только. Этот формат общения с аудиторией нельзя отрицать, наоборот, нужно развивать и быть на шаг впереди избирателей. Сейчас коммуникации. С гражданами можно и нужно переносить в онлайн.

Подобного рода взаимодействие является одним из эффективных способов электронного участия, что в свою очередь является одним из ключевых элементов электронного правительства. В отдельных странах принимаются специализированные акты, регулирующие взаимодействие государственных служащих в социальных сетях.

Научный сотрудник Центра исследований государственного управления НИИ теории и практики государственного управления Академии управления при Президенте Республики Беларусь Парфенчик А. А. отмечает, что в Швеции уже разработаны 26 положений о социальных сетях местных исполнительных и распорядительных органов данной страны, среди которых как наиболее важные выделяют контроль над деятельностью в социальной сети, период времени, необходимый на ответ пользователю, согласованность с другими интернет-ресурсами. Управление служебной этики в государственных органах в США утвердило стандарт поведения при использовании социальных сетей в личных целях. В Великобритании приняли Руководство по социальным сетям для государственных служащих,

чтобы поощрять использование этой интернет-технологии в соответствии с этическим кодексом. К слову, документ распространяется на использование социальных сетей в рабочее и нерабочее время [3].

Стоит также отметить, что рекомендации по социальным сетям разработали и для служащих Европейского союза. В документе особенно подчеркивается размытость между личным и официальным использованием аккаунтов в социальных сетях.

Сегодняшние политики и госслужащие Беларуси чаще пренебрегают современными веяниями, что негативно сказывается на уровне доверия и взаимодействия с населением. Разрабатываются сайты ведомств и учреждений, однако это выполняется для галочки. Плюс ко всему, не вводится специальная должность, согласно которой за образ заведения и его представителей будет нести ответственность определенный человек.

В современном мире крайне важно для государственных служащих грамотно выстраивать собственный имидж. Статус госслужащих предполагает медийность. Они являются представителями государственной власти в стране. Именно эти люди должны подавать пример и нести высокие ценности в массы. Для этого с людьми нужно взаимодействовать по новым правилам современности.

Сегодня наблюдается переход от традиционных массмедиа к эре персонифицированных медиа и медиа с активным участием потребителей. Тиражи газет и уровень просмотров на телевидении падает. Современный человек предпочитает черпать информацию из инстаграм-аккаунтов и телеграм-каналов. Традиционные СМИ ушли на второй план.

Рассказы в средствах массовой информации о благих делах политиков уже не воспринимается. Таким новостям люди не доверяют и еще больше убеждаются, что это все делается напоказ. Чтобы повысить уровень доверия граждан, нужно говорить с ними на их языке.

Человеку хочется видеть человека. Поэтому нужно выходить на их площадку: регистрироваться в социальных сетях. Этот инструмент можно грамотно использовать в период предвыборной гонки и улучшить свои показатели. Например, Барак Обама использовал их еще в далеком 2008 году и с их помощью, в том числе победил на выборах. Использование Обамой более широкого Интернета с тех пор часто сравнивают с выступлением Франклина Рузвельта и Джона Кеннеди на радио и телевидении, соответственно, в истории общения между Белым домом и американской общественностью.

Сейчас мы стоим на пороге нового витка, при котором в политической гонке и государстве в целом будут задействовать социальные сети как инструмент взаимодействия и влияния. Однако следует учесть, что этот инструмент можно и нужно использовать не только в период предвыборной гонки, но и круглогодично. То есть политик должен использовать блогинг в своем продвижении и во взаимодействии с населением. Это такая долгосрочная перспектива.

Создав аккаунт, к примеру, в инстаграме, госслужащий не обязан рассказывать о каждом своем шаге, но он может говорить о новых законопроектах, акциях, открытиях и победах отечества, тем самым образовывая население и повышая правовую культуру в обществе. Кроме того, приоткрывая завесу личной жизни, госслужащий становится более понятным человеком в глазах людей. То есть ты такой же, как и мы, — настоящий, а значит тебе можно доверять. Необязательно говорить о семье, собственных обычаях и другое. Можно вообще разработать настоящую пиар-кампанию или стратегию продвижения, согласно которой у граждан будет возникать определенный образ того или иного политика.

Оклеветать любимца публики сложнее, а к лицу, которому доверяют, прислушаются, будут лояльны, где-то снисходительны, да и в принципе будут слушать. К такому человеку пойдут с проблемами: личными и более широкого масштаба. Такая личность может урегулировать конфликт, не выходя из социальной сети — путем ответа на комментарии и личные сообщения; содействовать общественному диалогу и влиять на мнение людей. Кроме того, госслужащий может объяснить, показать людям, чем же занимается госслужащий. Такая прямая связь с населением повысит доверие к правительству, будет способствовать взаимному диалогу и повышению имиджа не только госслужащего, но и государства в целом.

### **Список использованных источников**

1. Козловский В. А. Перспективы цифровизации системы государственного управления в Республике Беларусь Осенние чтения «Молодежь и право»: материалы I междунар. науч. конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Минск, 19 ноября 2020 г. / БГУ, Юридический фак. ; [редкол.: А. А. Пухов (отв. ред.) и др.]. – Минск: БГУ, 2021. – С. 489-491.
2. Олесько С.С. Цифровая личность, информационное общество и цифровое государство в условиях обеспечения конституционных ценностей в цифровую эпоху / Информационные технологии как

средство обеспечения конституционных прав и свобод граждан, надлежащего выполнения ими своих обязанностей в современных условиях: материалы круглого стола, Минск, 30 марта 2021 г. / БГУ, Юридический фак., Каф. конституционного права; [под ред. А. В. Шавцовой]. – Минск: БГУ, 2021. – С. 82-85.

3. Парфенчик А. А. Использование социальных сетей в государственном управлении / журнал «Вопросы государственного и муниципального управления» НИУ «Высшая школа экономики» — № 2 — 2017. — С. 186-200.

УДК 535.215, 621.382, 621.383

**К.С. Рожкова<sup>1</sup>, А.К. Аймуханов<sup>1</sup>, Б.Р. Ильясов<sup>2</sup>,  
М.С. Сулейменова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Карагандинский университет им. Академика Е.А. Букетова

<sup>2</sup>Astana IT University, Nur-Sultan

### **ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ PEDOT: PSS НА ТРАНСПОРТ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА**

*Аннотация.* Представлены результаты исследования влияния модификации пленок PEDOT:PSS на транспорт носителей заряда. Модификация пленок производилась при помощи добавления в объем полимера PEDOT:PSS различной концентрации этилового и изопропилового спиртов. Преимущества модифицированного PEDOT:PSS были определены сравнением спектров импеданса.

**X.S. Rozhkova<sup>1</sup>, A.K. Aimukhanov<sup>1</sup>, B.R. Ilyassov<sup>2</sup>,  
M.S. Sulejmenova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Karaganda State University named after Academician E.A. Buketova

<sup>2</sup>Astana IT University, Nur-Sultan

### **INFLUENCE OF PEDOT:PSS STRUCTURAL FEATURES ON THE CHARGE CARRIERS TRANSPORT.**

*Abstract.* This paper presents the results of studying of the effect of modification of PEDOT:PSS films on the charge carriers transport. The modification of the films was carried out by adding different concentrations of ethyl and isopropyl alcohols to the volume of the PEDOT:PSS polymer. The advantages of the modified PEDOT: PSS were determined by comparing impedance spectra.

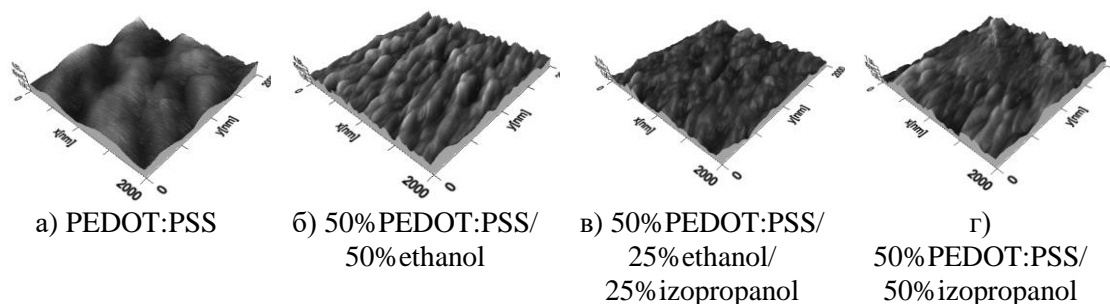
Подготовка подложек осуществлялась согласно методике [1]. В работе использовали PEDOT:PSS (1%, Ossila A14083), Izopropanol, Ethanol (pure 99,9% Sigma Aldrich). Перед началом экспериментов раствор PEDOT:PSS фильтровали через 0,45 микрометровый фильтр. Пленки PEDOT:PSS получали на поверхности кварцевого стекла методом центрифугирования (на центрифуге SPIN150i производства компании Semiconductor Production System) при скорости вращения 5000 об/мин.

В исходный раствор PEDOT:PSS (1%, Ossila A14083) добавлялся этиловый спирт (в соотношении PEDOT:PSS:Ethanol 1:1), изопропиловый спирт (в соотношении PEDOT:PSS:Izopropanol 1:1) и их смесь (в соотношении PEDOT:PSS:Ethanol:Izopropanol 1:0,5:0,5). Из исходного и разбавленных растворов PEDOT:PSS методом spin-coating наносились пленки PEDOT:PSS.

Топография поверхности образцов исследовалась с помощью высокоразрешающего атомно-силового микроскопа (АСМ) JSPM-5400 (JEOL, Япония). Для обработки изображений, полученных на АСМ, использовалась специальная модульная программа анализа данных сканирующей зондовой микроскопии (Win SPMII Data-Processing Software). Морфология поверхности, шероховатость тонких пленок PEDOT:PSS анализировались из снимков АСМ. Снимки поверхности пленок PEDOT:PSS были получены в режиме полуконтактного метода сканирования. Измерение морфологии поверхности пленок проводилось на электронном микроскопе MIRA 3 LMU.

3D снимки морфологии поверхности пленок PEDOT:PSS представлены на рис. 1. Из рис.1а видно, что пленка PEDOT:PSS без добавления концентрации спиртов имеет крупнозернистую структуру, шероховатость поверхности составляет 1,03 нм. При добавлении в раствор PEDOT:PSS концентрации этилового спирта структура приобретает ярковыраженный мелкозернистый характер (рис. 1b), шероховатость становится 0,88 нм. При добавлении в PEDOT:PSS этилового и изопропилового спирта в равных долях наблюдается полное отсутствие крупных частиц (рис. 1с). Шероховатость при этом становится 0,63 нм. Однако, пленка PEDOT:PSS с концентрацией только изопропилового спирта имеет еще большую степень однородности поверхности пленки за счет увеличения сглаживания (рис. 1d), шероховатость пленки составляет 0,56 нм. В таблице 1 приведены значения шероховатости пленок PEDOT:PSS.





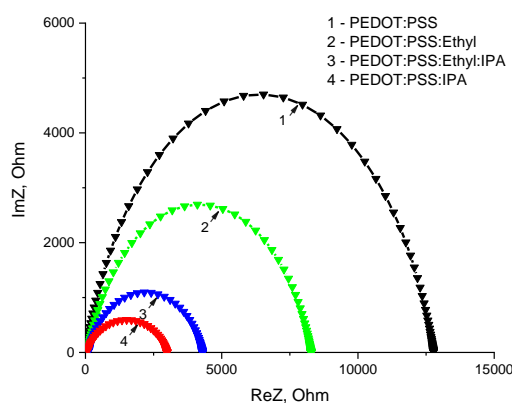
**Рис. 1 - 3D снимки морфологии поверхности пленок PEDOT:PSS**

**Таблица 1. Шероховатость поверхности плёнок PEDOT:PSS**

Образец	$R_a$ , nm
PEDOT:PSS	1,03
50% PEDOT:PSS/50% ethanol	0,88
50% PEDOT:PSS/25% ethanol/25% izopropanol	0,63
50% PEDOT:PSS/50% izopropanol	0,56

Далее мы исследовали влияние модификации структуры PEDOT:PSS на транспорт носителей заряда в ячейках структуры ITO/PEDOT:PSS/Al с помощью метода импедансной спектроскопии. Измерения спектров импеданса проводились при помощи потенциостата-гальваностата P45X в режиме импеданс на установке, подробно описанной в работе [2]. На напылительной установке CY-1700x-spc-2 (Zhengzhou CY Scientific Instruments Co., Ltd) на поверхность пленок в вакууме при давлении  $10^{-5}$  Торр наносился алюминиевый электрод толщиной 200 нм. Световые импеданс спектры пленок исходного и модифицированного PEDOT:PSS производились при параметрах напряжения -500 мВ и частоты от 100 кГц до 0,5 Гц. Фитинг спектров импеданса проводился с помощью программного пакета EIS-analyzer.

На рисунке 2а показаны спектры импеданса ячеек ITO/PEDOT:PSS/Al. Из спектров рассчитывались основные электротранспортные параметры (таблица 2), где:  $k_{eff}$  – параметр, характеризующий скорость извлечения носителей заряда с PEDOT:PSS,  $\tau_{eff}$  – эффективное время пролета носителей заряда через PEDOT:PSS,  $R_h$  – сопротивление пленки PEDOT:PSS,  $R_w$  – сопротивление переноса носителей заряда на границе PEDOT:PSS/электрод.



**Рис. 2 – Импеданс-спектры пленок PEDOT:PSS, модифицированных с объеме спиртовых растворителей**

В таблице 2 показаны значения электрофизических параметров пленок. Как видно из данных таблицы 2, модификация PEDOT:PSS ( $R_h$ ) органическими растворителями оказывает влияние на транспорт носителей заряда в PEDOT:PSS. Из таблицы 2 видно, что ячейки на основе пленок полученных из растворов с органическими растворителями обладают лучшими электротранспортными свойствами. Добавление этилового спирта уменьшает сопротивление пленки PEDOT:PSS ( $R_h$ ) и сопротивление границы раздела PEDOT:PSS/Al ( $R_w$ ), что увеличивает эффективность транспорта дырок с ИТО в Al через PEDOT:PSS. При добавлении этилового спирта и изопропилового спирта, наблюдается дальнейшее уменьшение величин  $R_h$  и  $R_w$ . При использовании только изопропилового спирта, уменьшение  $R_h$  и  $R_w$  более существенное:  $R_h$  уменьшалось почти в 2 раза, тогда как  $R_w$  в 4 раза по сравнению с исходным раствором PEDOT:PSS.

**Таблица 2 –Значение электрофизических параметров пленок**

Образец	$R_h, \Omega$	$R_w, \Omega$	$k_{eff}, c^{-1}$	$\tau_{eff}, \mu c$
PEDOT:PSS	56,51	12772	47,86	20,89
50% PEDOT:PSS/50% ethanol	50,45	7472,6	59,09	16,92
50% PEDOT:PSS/25% ethanol/25% isopropanol	41,45	4817,9	78,63	12,72
50% PEDOT:PSS/50% isopropanol	28,11	2817,7	120,22	8,32

Уменьшение  $R_h$  и  $R_w$  обусловлено улучшением однородности структуры PEDOT:PSS. При добавлении в водный раствор PEDOT:PSS органических растворителей, растворимость PSS увеличивается, что предотвращает образования агломератов. Уменьшение плотности и

размеров агломератов улучшают проводимость пленки PEDOT:PSS и улучшают качество границы раздела PEDOT:PSS/электрод, что обеспечивает улучшенный транспорт и перенос дырок. Из данных анализа спектров импеданса, следует, что наиболее положительная динамика наблюдается при использовании изопропилового спирта в качестве дополнительного растворителя.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08856176).

### Список использованных источников

1. Kim K., Ihm K., Kim B. Surface Property of Indium Tin Oxide (ITO) After Various Methods of Cleaning // Acta Physica Polonica A, Proceedings of the 4th International Congress APMAS2014, April 24-27, 2014, Fethiye, Turkey. – Vol. 127, № 4.

2. J. Bisquert, I. Mora-Sero, and F. Fabregat-Santiago, “Diffusion-recombination impedance model for solar cells with disorder and nonlinear recombination,” ChemElectroChem, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2014, doi: 10.1002/celc.201300091.

УДК 678.7-13

**Т.В. Савинцова**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Томск, Российская Федерация

### СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЛАКТИДА

*Аннотация.* Синтез лактида проводили термической деструкцией полилактида в присутствии оксида цинка. Индификацию образцов осуществляли ИК-спектроскопией в интервале волновых чисел 4500-400 $\text{см}^{-1}$  и определением температуры плавления. Полученный мономер использовался для получения полилактида, сополимеров лактида и гликолида, лактида и капролактама.

**T.V. Savintsova**

National Research Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russian Federation

### SYNTHESIS OF LACTIDE-BASED COPOLYMERS

*Abstract.* The lactide production was carried out by thermal degradation of polylactide in the presence of zinc oxide. Identification of the samples was performed by IR spectroscopy in the range of wave numbers 4500-400  $\text{cm}^{-1}$  and determination of the

*melting point. The resulting monomer was used to produce polylactide, a copolymer of lactide and glycolide, lactide and caprolactam.*

**Введение.** В последние годы полилактид и его сополимеры с различными мономерами, из-за их хорошей проницаемости, биоразлагаемости и биосовместимости, привлекают все большее внимание в различных отраслях промышленности для производства продукции широкого спектра назначения: в качестве шовных нитей, систем доставки лекарств пролонгированного действия, имплантов, клеточных каркасов в тканевой инженерии, в производстве биоразлагаемых каучуков и товаров потребительского назначения [1-3].

Производство лактида и его сополимеров в крупном масштабе в Российской Федерации отсутствуют, поэтому существует потребность в недорогих и доступных технологиях его производства.

Целью данной работы является получение лактида из некондиционных полимеров на основе полилактида и дальнейшая его полимеризация и сополимеризация с различными мономерами.

**Материалы и методы исследования.** В качестве исходных веществ для получения сополимеров использовали капролактam, синтезированный нами лактид и гликолид по следующим методикам: гликолид получали поликонденсацией гликолевой кислоты с использованием 1%(мас.) оксида цинка на роторном испарителе. Условия эксперимента указаны в таблице 1.

**Таблица 1 – Условия получения олигомера гликолевой кислоты**

Время	Температура, °С	Давление, мбар
0	130	500
80	150	500
100	180	500
120	180	300
140	180	100

Некондиционный полилактид, олигомер гликолевой кислоты подвергали термической деструкции с использованием катализатора (оксид цинка) в количестве 1-2% (мас.). Синтез проводили при температуре 180-200 °С и давлении 10 мбар в течение 30-40 минут.

Для очистки сырцов использовали метод перекристаллизации из этилацетата.

Конечные продукты сушили в шкафу при комнатной температуре.

Полимеризацию лактида и сополимеризацию лактида с мономерами (гликолид, капролактam), проводили на роторном

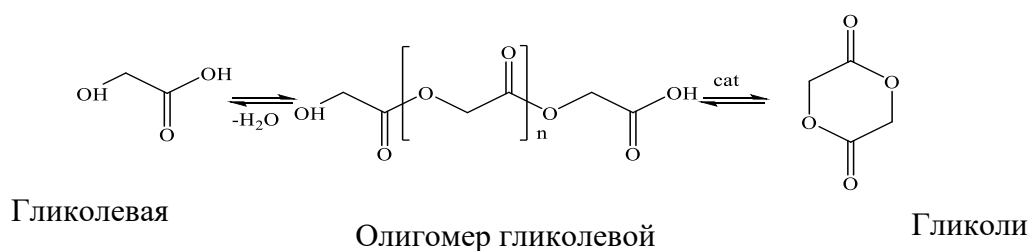
испарителе. Добавляли катализатор (оксид цинка, октоат олова) в количестве 1,5 % от массы лактида. Условия эксперимента указаны в таблице 2. Время синтеза 6 часов.

**Таблица 2 – Условия эксперимента полимеризации лактида**

Время, мин	Температура, °С	Давление, мбар	Обороты колбы, об/мин
0	120	25	60
30	140	150	45
70	160	300	30
130	170	450	15
250	180	600	10

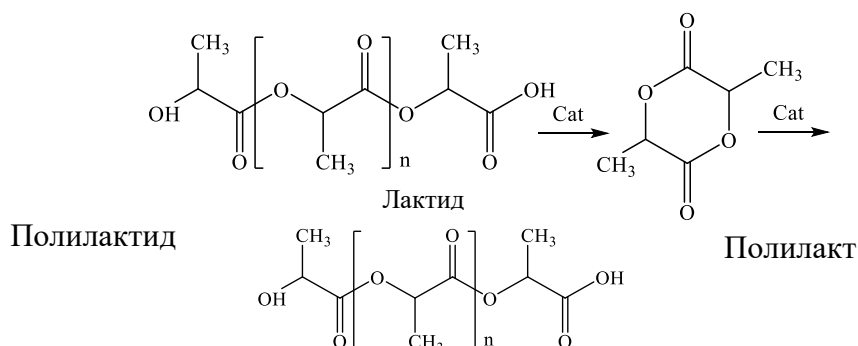
Анализ и идентификация полученных продуктов осуществляли ИК-спектроскопией и определением температуры плавления.

**Результаты.** Химизм образования гликолида и полилактида изображены на рис. 1,2.



**Рис. 1 – Химизм образования гликолида**

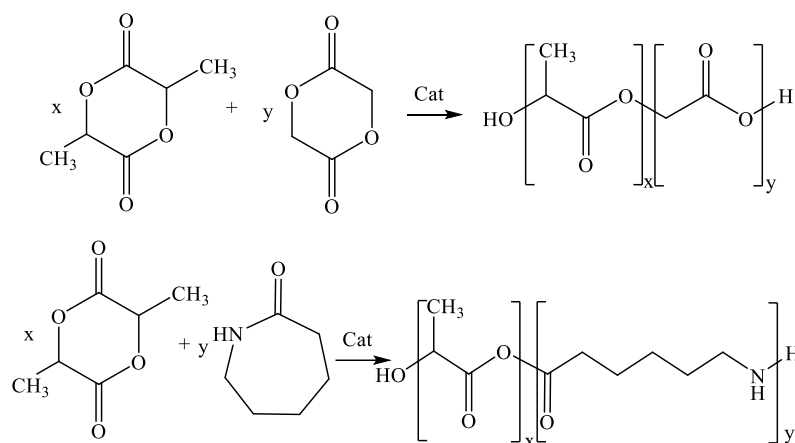
В результате поликонденсации гликолевой кислоты получили олигомер гликолевой кислоты с выходом 33%. При последующей термической деструкции олигомера образовался гликолид, выход которого составил 49%.



**Рис. 2 – Химизм образования полилактида**

В результате проведения термической деструкции полилактида получена серия образцов лактида, выход которых составил 60 %. При последующей полимеризации лактидов получили полилактид с выходом 83%.

Химизм сополимеризации лактида с гликолидом, лактида с капролактамом представлены на рис. 3.



**Рис. 3 – Химизм образования сополимеров на основе лактида**

При полимеризации лактиды с гликолидом получен сополимер поли(лактид-со-гликолид), выход которого составил 86%. А при полимеризации лактида с капролактамом образовался сополимер поли(лактид-со-капролактама) с выходом 75%.

Температура плавления лактида составила 81-110 °С, что говорит о том, что в мономере содержится смесь *D*-лактида, *L*-лактида.

Температура плавления очищенного гликолида составила 80-95°С, что говорит о том, что в нем содержится минимальное количество примесей, т.к. согласно литературным данным его температура плавления равна 84 °С.

В таблице 3 представлены расшифровки ИК-спектров лактида, полилактида, гликолида, поли(лактид-со-капролактама).

**Таблица 3 – Расшифровка ИК-спектров**

Функциональная группа	Полосы поглощения, см <sup>-1</sup>			
	Лактид	Полилактид	Гликолид	Поли(лактид-со-капролактама)
Карбонильная группа	1726-1736	1743	1738	1743
Эфирная группа	1086-1240	1043-1261	1080-1160	1041-1182
Метильная группа	1317-1443	1375-1448		2924

Колебания циклического кольца	767-929			
Гидроксильная группа		3019-3096		
Связь С-Н			1416	
Связь СН <sub>2</sub>				2847
Амидная группа				1446

### **Выводы**

1. Получен лактид из полилактида и гликолид из гликолевой кислоты (температура - 180-200°C, давление - 10мбар, время процесса - 25-40мин, катализатор – ZnO).

2. Определен выход лактида-сырца и лактида, который в данных условиях составил – 60-85 % и 60,0 % соответственно. Очищенный продукт представляет собой смесь изомеров – D-лактид и L-лактид.

3. Определен выход гликолида-сырца и гликолида, который составил – 32,0% и 49,0% соответственно. Температура плавления очищенного гликолида составила 80-95°C.

4. Методом полимеризации с раскрытием кольца в присутствии октоата олова (катализатор) при температуре 180 °С, давлении 600 мбар и длительностью синтеза 5,5 часов получены полилактид, поли(лактид-со-гликолид), поли(лактид-со-капролактан), выходы которых составили 83,0 %, 86,0 % и 75,0 % соответственно.

### **Список использованных источников**

1. Ruizhi Wu. One-Shot Block Copolymerization of a Functional Seven-Membered Cyclic Carbonate Derived from L-Tartaric Acid with  $\epsilon$ -Caprolactone / Ruizhi Wu, Talal F. AL-Azemi, Kirpal S. Bisht // *Macromolecules*. – 2009. - №42. – P. 2401-2410.

2. Asutosh K. Pandey. Copolymerization of L,L-lactide with  $\epsilon$ -caprolactone by using novel zinc L-proline organometallic catalyst // *e-Polymers*. - 2010. - No. 139.

3. Седуш, Н.Г. Кинетика полимеризации лактида и гликолида, свойства и биомедицинские применения полученных полимеров: диссертация на соиск. ученой степени канд. физ-хим. наук: 01.04.17 / Седуш Никита Геннадьевич. – Москва, 2015. – 151с.

## **УСКОРЕННОЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА И ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ**

*Аннотация.* Поставлена и решена задача о совместном вращательном движении твердого цилиндрического тела и окружающей его вязкой жидкости при внешнем силовом воздействии. Обнаружены существенные особенности движения тела на малых и больших временах.

**V.L. Sennitskii**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia  
<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

## **ACCELERATED ROTARY MOTION OF A SOLID BODY AND A VISCOUS LIQUID**

*Abstract.* The problem is formulated and solved on the joint rotary motion of a solid cylindrical body and a surrounding it viscous liquid under an external force influence. Essential peculiarities of the motion of the body at small and at large times are revealed.

**1.** Известно (см., например, [1, 2]), что жидким средам – расплавам, растворам – принадлежит важная роль в процессах создания высококачественных материалов. Ввиду этого, исследования динамики гидромеханических систем, и прежде всего – содержащих вязкую жидкость, неизменно сохраняют свою актуальность [3–5]. Данное научное направление развивается, в частности, посредством решения новых задач о совместном движении всех свободных частей гидромеханических систем. Такой подход приводит к задачам повышенной сложности, но является необходимым для получения достоверных результатов. Задачи об ускоренном вращательном движении (разгоне, торможении) гидромеханической системы, содержащей вязкую жидкость, представляют собой классические задачи гидромеханики; при этом их решения являются актуальными и имеют существенную прикладную значимость. Вместе с тем, такие задачи относительно мало изучены. В настоящей работе поставлена и решена новая задача о совместном ускоренном вращательном движении твердого кругового цилиндрического тела и вязкой жидкости. Ускоренное движение тела обуславливается внешними



силами, действующими на тело на протяжении конечного промежутка времени, и силами, действующими на тело со стороны жидкости. Найдено точное решение задачи.

**2.** В вязкой несжимаемой неограниченной извне жидкости находится абсолютно твердое тело  $\Xi$  – бесконечно длинный круговой цилиндр радиуса  $A$ . В начальный момент времени  $t$ , при  $t = 0$  тело  $\Xi$  и жидкость покоятся относительно инерциальной прямоугольной системы координат  $X, Y, Z$ . В начальный и последующие моменты времени ось тела  $\Xi$  находится на оси  $Z$ . При  $0 \leq t \leq T$  ( $T > 0$  – постоянная) на тело  $\Xi$  оказывается внешнее силовое воздействие. Требуется определить движение тела  $\Xi$  и жидкости при  $t > 0$ .

Пусть  $R, \theta$  – полярные координаты в плоскости  $Z = 0$ ;  $\xi$  – часть тела  $\Xi$  длиной  $L$ , радиусом  $A$ , вписанная между плоскостями  $Z = -L/2$  и  $Z = L/2$ ;  $\Omega$  – угловая скорость вращения тела  $\Xi$  вокруг оси  $Z$ ;  $I$  – момент инерции тела  $\xi$  относительно оси  $Z$ ;  $\rho, \nu, \mathbf{V} = V\mathbf{e}_\theta$  – соответственно плотность, кинематический коэффициент вязкости и скорость жидкости ( $V = V(R, t)$ );  $\mathbf{e}_\theta$  – единичный вектор, направление которого совпадает с направлением возрастания угла  $\theta$ );  $M_{\text{ext}} = M$  при  $0 \leq t \leq T$ ,  $0$  при  $t > T$  – момент внешних сил, действующий на тело  $\xi$  относительно оси  $Z$  ( $M > 0$  – постоянная);

$$M_{\text{liq}} = 2\pi A^2 L \rho \nu \left( \frac{\partial V}{\partial R} \Big|_{R=A} - \Omega \right)$$

– момент сил со стороны жидкости, действующий на тело  $\xi$  относительно оси  $Z$ .

Уравнение движения тела  $\xi$  (тела  $\Xi$ ), уравнение Навье – Стокса, граничные и начальные условия имеют вид

$$I \frac{d\Omega}{dt} = M_{\text{ext}} + M_{\text{liq}}, \quad \frac{\partial V}{\partial t} = \nu \left( \frac{\partial^2 V}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial V}{\partial R} - \frac{V}{R^2} \right); \quad (1)$$

$$V = A \Omega \quad \text{при } R = A, \quad V \rightarrow 0 \quad \text{при } R \rightarrow \infty; \quad (2)$$

$$\Omega = 0, \quad V = 0 \quad \text{при } t = 0. \quad (3)$$

**3.** Для решения задачи (1)–(3) будем использовать операционный метод. Переходя к изображениям, получим

$$I p \Omega^* = M_{\text{ext}}^* + M_{\text{liq}}^*, \quad \frac{p}{\nu} V^* = \frac{d^2 V^*}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dV^*}{dR} - \frac{V^*}{R^2}; \quad (4)$$

$$V^* = A \Omega^* \quad \text{при } R = A, \quad V^* \rightarrow 0 \quad \text{при } R \rightarrow \infty. \quad (5)$$

Здесь

$$\Omega^* = \int_0^\infty e^{-pt} \Omega dt; \quad V^* = \int_0^\infty e^{-pt} V dt.$$

Из (4), (5) следует

$$\Omega^* = \frac{M(1-e^{-pT})}{2\pi A^2 L \rho v p \chi}; \quad V^* = A \Omega^* \frac{K_1(qr)}{K_1(q)}, \quad (6)$$

где  $K_1$  – функция Макдональда;  $q = \sqrt{\frac{p}{v}} A$ ;  $r = R/A$ ;

$$\chi = 1 + \frac{I_p}{2\pi A^2 L \rho v} - \frac{dK_1(q)/dq}{K_1(q)}.$$

Переходя к оригиналу, получим

$$V = \frac{\kappa A}{2\pi i T} \int_{\alpha-i\infty}^{\alpha+i\infty} \frac{e^{pt}(1-e^{-pT})}{p\chi} \frac{K_1(qr)}{K_1(q)} dp. \quad (7)$$

Здесь интегрирование производится по прямой  $\text{Real } p = \alpha > 0$ ;  $i$  – мнимая единица;  $\kappa = MT/(2\pi A^2 L \rho v)$ . Отметим, что функция  $\chi = \chi(p)$  не имеет нулей на комплексной плоскости переменной  $p$  с разрезом вдоль оси  $\text{Real } p$  от  $p = 0$  до  $p = \infty$ . По теореме Коши

$$\int_{aa'ba} \frac{e^{p(t-T)}}{p\chi} \frac{K_1(qr)}{K_1(q)} dp = 0 \quad \text{для } 0 \leq t \leq T; \quad (8)$$

$$\int_{aa'cdgha} \frac{e^{pt}}{p\chi} \frac{K_1(qr)}{K_1(q)} dp = 0; \quad (9)$$

$$\int_{aa'cefha} \frac{e^{pt}(1-e^{-pT})}{p\chi} \frac{K_1(qr)}{K_1(q)} dp = 0 \quad \text{для } t > T, \quad (10)$$

где  $aa'ba$ ,  $aa'cdgha$ ,  $aa'cefha$  – контуры интегрирования (контур  $aa'ba$  образован отрезком  $aa'$  прямой  $\text{Real } p = \alpha$  и дугой  $a'ba$  окружности радиуса  $S_1 > \alpha$ ; контур  $aa'cdgha$  образован отрезком  $aa'$  прямой  $\text{Real } p = \alpha$ , дугой  $a'c$  окружности радиуса  $S_1$ , отрезком  $cd$  прямой  $\text{Imag } p = \delta > 0$ , дугой  $dg$  окружности радиуса  $\delta < S_2 < \alpha$ , отрезком  $gh$  прямой  $\text{Imag } p = -\delta$  и дугой  $ha$  окружности радиуса  $S_1$ ; контур  $aa'cefha$  образован отрезком  $aa'$  прямой  $\text{Real } p = \alpha$ , дугой  $a'c$  окружности радиуса  $S_1$ , отрезком  $ce$  прямой  $\text{Imag } p = \delta$ , дугой  $ef$  окружности радиуса  $\delta$ , отрезком  $fh$  прямой  $\text{Imag } p = -\delta$  и дугой  $ha$  окружности радиуса  $S_1$ ; центры окружностей находятся в точке  $\text{Real } p = \text{Imag } p = 0$ ). Из (2), (8) – (10) (при  $\delta \rightarrow 0$ ,  $S_1 \rightarrow \infty$ ,  $S_2 \rightarrow 0$ ) следует

$$\Omega = \frac{\kappa}{2T} \left( 1 - \frac{8\lambda^2}{\pi^2} \int_0^\infty \frac{e^{-\sigma^2\tau}}{\sigma^3\eta_1} d\sigma \right) \quad \text{для } 0 \leq t \leq T; \quad (11)$$

$$\Omega = \frac{4\kappa\lambda^2}{\pi^2 T} \int_0^\infty \frac{e^{-\sigma^2\tau}(e^{\mu\sigma^2} - 1)}{\sigma^3\eta_1} d\sigma \quad \text{для } t > T; \quad (12)$$

$$V = \frac{A\kappa}{2Tr} \left( 1 + \frac{4\lambda}{\pi} r \int_0^\infty \frac{e^{-\sigma^2\tau}\eta_2}{\sigma^2\eta_1} d\sigma \right) \quad \text{для } 0 \leq t \leq T; \quad (13)$$

$$V = \frac{-2A\kappa\lambda}{\pi T} \int_0^\infty \frac{e^{-\sigma^2\tau}(e^{\mu\sigma^2} - 1)\eta_2}{\sigma^2\eta_1} d\sigma \quad \text{для } t > T, \quad (14)$$

где  $\lambda = 2\pi A^4 L\rho/I$ ;  $\mu = vT/A^2$ ;  $\tau = vt/A^2$ ;  
 $\eta_1 = [\lambda J_2(\sigma) - \sigma J_1(\sigma)]^2 + [\lambda N_2(\sigma) - \sigma N_1(\sigma)]^2$ ;  
 $\eta_2 = [\lambda N_2(\sigma) - \sigma N_1(\sigma)]J_1(\sigma) - [\lambda J_2(\sigma) - \sigma J_1(\sigma)]N_1(\sigma)$   
 $(J_1, J_2 - \text{функции Бесселя; } N_1, N_2 - \text{функции Неймана}).$

Формулами (11) – (14) определяется решение задачи (1) – (3).

**4.** Обратимся к вопросу об асимптотиках движения тела на малых и больших временах. Согласно (11)

$$\Omega = \left( \frac{4\kappa\lambda^2}{\pi^2 T} \int_0^\infty \frac{d\sigma}{\sigma\eta_1} \right) \tau + o(\tau) \quad \text{при } \tau \rightarrow 0. \quad (15)$$

По теореме Коши

$$\int_{\text{haba'cefh}} \frac{dp}{\chi} = 0, \quad (16)$$

где  $\text{haba'cefh}$  – контур интегрирования, образованный дугой  $\text{haba'c}$  окружности радиуса  $S_1$ , отрезком  $\text{se}$  прямой  $\text{Imag } p = \delta$ , дугой  $\text{ef}$  окружности радиуса  $\delta$ , отрезком  $\text{h}$  прямой  $\text{Imag } p = -\delta$  (центры окружностей находятся в точке  $\text{Real } p = \text{Imag } p = 0$ ). Из (16) следует

$$\int_0^\infty \frac{d\sigma}{\sigma\eta_1} = \frac{\pi^2}{4\lambda}. \quad (17)$$

Используя (15), (17), получим асимптотическую формулу

$$\Omega \sim \frac{M}{I} t \quad \text{при } t \rightarrow 0. \quad (18)$$

Согласно (12)

$$\Omega = \frac{4\kappa\lambda^2}{\pi^2 T} \left[ \int_0^{\tau^{-1/8}} \frac{e^{-\sigma^2\tau}(e^{\mu\sigma^2} - 1)}{\sigma^3\eta_1} d\sigma + O(e^{-\tau^{3/4}}) \right] \quad \text{при } t \rightarrow \infty,$$

откуда следует асимптотическая формула

$$\Omega \sim \frac{MT}{8\pi L\rho v^2} t^{-2} \quad \text{при } t \rightarrow \infty. \quad (19)$$

Формулами (18), (19), в частности, устанавливается наличие двух существенных особенностей вращательного движения рассматриваемого твердого тела в вязкой жидкости: движение тела на малых временах не зависит от плотности и коэффициента вязкости жидкости, движение тела на больших временах не зависит от радиуса и момента инерции тела. Это свидетельствует о том, что асимптотики, определяемые формулами (18), (19), обладают универсальностью – асимптотика угловой скорости на малых временах одинакова для любой вязкой жидкости, асимптотика угловой скорости на больших временах одинакова для любого твердого кругового цилиндрического тела.

Изложенное в настоящей работе может быть использовано, в частности, при создании устройств, организации процессов, предполагающих наличие вращающихся твердых тел и жидких сред.

#### Список использованных источников

1. Петровский Г. Т., Воронков Г. Л. Оптическая технология в космосе. Л.: Машиностроение, 1984. 158 с.
2. Космическое материаловедение. Введение в научные основы космической технологии. Под ред. Б. Фойербахера, Г. Хамахера, Р. Наумана. М.: Мир, 1989. 480 с.
3. Сенницкий В. Л. Нестационарное вращение цилиндра в вязкой жидкости // Прикладная механика и техническая физика. 1980. № 3. С. 66–69.
4. Сенницкий В. Л. Преимущественно однонаправленное вращение твердого тела и вязкой жидкости // Сибирский журнал индустриальной математики. 2017. Т. 20, № 2. С. 93–97. DOI 10.17377/sibjim.2017.20.210
5. Sennitskii V. L. Predominantly unidirectional rotation of a viscous liquid with a free boundary // Thermophysics and Aeromechanics. 2020. Vol. 27, No. 1. P. 157–160. DOI 10.1134/S0869864320010175 .

**С.М. Спектор**  
Гомельский государственный политехнический колледж  
Гомель, Республика Беларусь

## **ЭФФЕКТ ЛОТОСА НА ЗАЩИТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

***Аннотация.** Строительная отрасль нуждается в производстве и применении новейших современных материалов, обеспечивающих коррозионную устойчивость, прочность возводимых зданий, повышающих их эксплуатационные характеристики. Применение наноматериалов, основанных на эффекте лотоса, позволяет решить поставленные задачи.*

**S.M. Spector**  
Gomel State Polytechnic College  
Gomel, Republic of Belarus

## **LOTUS EFFECT ON THE PROTECTION OF BUILDING MATERIALS**

***Abstract.** The construction industry needs the production and use of the latest modern materials that provide corrosion resistance, the strength of the buildings being erected, and increase their operational characteristics. The use of nanomaterials based on the lotus effect makes it possible to solve the set tasks.*

Одной из базовых отраслей экономики Беларуси является строительство. В последние годы в стране выросло множество социально значимых объектов и жилых комплексов. Рост благосостояния белорусов позволил расширить возможности строительства индивидуального жилья. Каждый год возводятся миллионы жилых квадратных метров.

Традиционными материалами в строительстве являются дерево, железобетон, кирпич, силикатные и пенобетонные блоки, шифер, металлочерепица, древесностружечные плиты и др. Долгие годы службы закрепили эти материала на строительном рынке. Однако продление срока эксплуатации возводимых зданий, а значит и снижение экономических затрат на их ремонт и реставрацию, является насущной проблемой современной строительной отрасли.

Цель работы – изучить возможность продления долговечности и прочности строительных конструкций, повышения их эксплуатационных характеристик.

Не всегда при решении какой-либо проблемы необходимо «изобретать велосипед», достаточно внимательно посмотреть вокруг и окажется, что ответы на некоторые вопросы даёт сама природа. Так капли воды, попавшие на поверхность листьев некоторых растений, скатываются с них, оставляя лист совершенно сухим. Такое явление получило название «Эффект лотоса», т.к. растущее в водной среде, это растение остаётся всегда сухим. Такой же эффект можно наблюдать у листьев тюльпана, камыша, капусты. Также не смачиваются водой крылья бабочек, стрекоз и некоторых других насекомых. Однако это явление не только жизненно необходимо для организмов, но и может использоваться человеком для защиты строительных материалов от намокания. Если это природное явление использовать при производстве покрытий строительных материалов, то можно в разы увеличить срок их службы.

Так, бетонные конструкции и кирпич заметно быстрее разрушаются во влажной среде. Эти строительные материалы имеют пористую структуру, которая позволяет молекулам атмосферной влаги попадать в микротрещины и поры. Последующее действие отрицательных температур вызывает замерзание воды и увеличение её объёма, что, в свою очередь, способствует образованию в кирпиче и бетоне трещин и поверхностных сколов. Таким образом, регулярное замораживание и оттаивание вызывает стремительное разрушение пористых конструкционных материалов. Решение этой проблемы можно найти в микроскопическом исследовании поверхности природных объектов, обладающих эффектом лотоса. Природа в процессе длительной эволюции разработала совершенный механизм защиты растений и животных, обитающих на открытых пространствах, от намокания. Так, поверхность листа лотоса подробно была изучена в 1990-х годах немецким ботаником Вильгельмом Бартлоттом [1]. Оказывается, что на поверхности листьев этого растения имеются микроскопические шипы высотой несколько микрометров из воска и других гидрофобных веществ, которые создают микрошероховатую поверхность. Расстояние между шипами во много раз меньше капли воды, что не позволяет воде, вследствие её высокого поверхностного натяжения и незначительного контакта с вершинами шипов, проникать в углубления. При самом незначительном наклоне листа или дуновении ветра, капли скатываются с поверхности листа, оставляя её совершенно сухой. При этом вода захватывает с собой частицы пыли, оказывая тем самым очищающий эффект. Такое же явление можно наблюдать и у чешуекрылых (бабочек). Мельчайшие чешуйки их крыльев не позволяют воде смачивать крылья даже во время дождя. Такую

взаимосвязь между гидрофобностью и величиной шероховатости поверхности отражена в законе Кассье, который определяет эффективное значение краевого угла смачивания для шероховатой поверхности. Этот угол составляет более  $150^\circ$  для ультрагидрофобных поверхностей. Закон Кассье имеет следующее математическое выражение:

$$\cos \theta_c = \gamma_1 \cos \theta_1 + \gamma_2 \cos \theta_2,$$

где  $\theta_1$  – угол контакта компонента 1, присутствующего в композиционном материале, с долей площади поверхности  $\gamma_1$ ;

$\theta_2$  – угол контакта компонента 2, присутствующего в композиционном материале, с долей площади поверхности  $\gamma_2$ .

Особое значение это уравнение приобретает в случае двухкомпонентной системы, когда вторым компонентом является воздух с углом контакта  $180^\circ$ . Подставив значение косинуса  $180^\circ$ , равное  $-1$ , в вышеприведённую формулу, получаем упрощённое уравнение:

$$\cos \theta_c = \gamma_1 (\cos \theta_1 + 1) - 1$$

Таким образом, малые значения  $\gamma_1$  и большие —  $\theta_1$  определяют возможность создания поверхности с очень большим углом контакта. Большое значение величины краевого угла увеличивает стремление капли воды принять форму идеального шара, благодаря чему площадь её соприкосновения с поверхностью материала становится минимальной, капля скатывается и смачиваемость стремится к нулю.

Исходя из закона Кассье, можно сделать вывод, что несмачиваемость поверхности связана не обязательно с использованием защитных гидрофобных материалов, таких как жиры и воски, а может быть достигнута введением в покрытия компонентов, образующих нанорельеф на защищаемом строительном материале. Большинство современных нанопокрытий имеют величину краевого угла  $110$ – $120^\circ$ . Для создания ультрагидрофобных покрытий строительных материалов этот угол должен составлять более  $150^\circ$ . Добиться таких показателей позволяет использование наноразмерных частиц, получить которые можно методами нанофрагментации и ультрадиспергирования.

Перспективными материалами при разработке нанопокрытий в строительной отрасли являются диоксид кремния  $\text{SiO}_2$  диоксид титана  $\text{TiO}_2$ , оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , фуллерены. Получить наночастицы этих веществ можно, используя, например, коллоидные мельницы, кавитационные диспергаторы, и другие физико-химические методы. Эффективность наночастиц при создании композитных материалов, служащих для защиты пористых материалов, таких как бетон, во

многим зависит от размера частиц, который должен составлять не более 100 нм. Уменьшение их размеров позволит увеличить удельную поверхностную энергию, отнесённую к массе частиц, что позволит заполнить в бетоне микропоры, а значит снизить их заполняемость водой и продлить срок службы бетона. Наиболее эффективен проэтом размер наночастиц до 20 нм [2].

Срок службы бетона с покрытием из наночастиц может быть увеличен до 500 лет [3]. Кроме того, использование в композитном покрытии наночастиц оксида титана придаёт бетону не только гидрофобность, но и способствует самоочищению здания. Этот материал обладает также фотокаталитическим эффектом, который заключается в разложении под действием света практически любых загрязнений на стенах – частиц выхлопных газов, плесени, пыли, бактерий. Таким образом, фотокаталитические бетоны могут стать перспективным направлением в строительстве, решая проблемы разрушения и загрязнения фасадов зданий, а также снижения концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Использование наночастиц позволяет производить композитные материалы с необходимыми свойствами: повышенными долговечностью, морозостойкостью, несмачиваемостью, прочностью. По данным академика Юрия Баженова, покрытие бетона композитным наноматериалом увеличивает его прочность с 20 до 200 МПа [4].

При кажущихся, на первый взгляд, дополнительных расходах на использование нанопокровтий в строительной отрасли экономики, стоит проанализировать снижение объёмов затрат за счёт повышения их прочности и износостойкости материалов. Кроме того, наноматериалы как добавки используются в небольшом количестве, принося при этом значительный эксплуатационный, а значит и экономический эффект.

### **Список использованных источников**

1. Сергеева, О.В. Введение в нанохимию: учеб.пособие / О.В.Сергеева, С.К.Рахманов // Минск, 2009. – С.126
2. Яглов, В.Н. Наночастицы в бетоне / В.Н.Яглов, Г.А.Бурак, А.А.Меженцев // Строительная наука и техника. – 2012.– № 1. – С.21
3. Лотов, В. А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий / В. А. Лотов // Строительные материалы. – 2006. – № 8. – С.7
4. Баженов, Ю. М. Технология бетона. Учебник / Ю.М.Баженов// 3-е изд. М.: Изд-во АСВ, 2002.– С.53



УДК 621.735; 621.785

**С.Н. Лежнев<sup>1</sup>, А.Б. Найзабеков<sup>1</sup>, Е.А. Панин<sup>2</sup>, Д.В. Куис<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Руднеский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан

<sup>3</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАГОТОВОК ИЗ СТАЛИ МАРКИ 7ХГ2ВМ, ПРОДЕФОРМИРОВАННЫХ В БОЙКАХ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ЗНАКОПЕРЕМЕННУЮ ДЕФОРМАЦИЮ**

*Аннотация.* Данная работа посвящена изучению механических свойств заготовок из стали марки 7ХГ2ВМ продеформированных в бойках новой конструкции, реализующих знакопеременные деформации во всем объеме деформируемого металла без существенного изменения исходных размеров.

**S.N. Lezhnev<sup>1</sup>, A.B. Naizabekov<sup>1</sup>, E.A. Panin<sup>2</sup>, D.V. Kuis<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

<sup>2</sup>Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

<sup>3</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

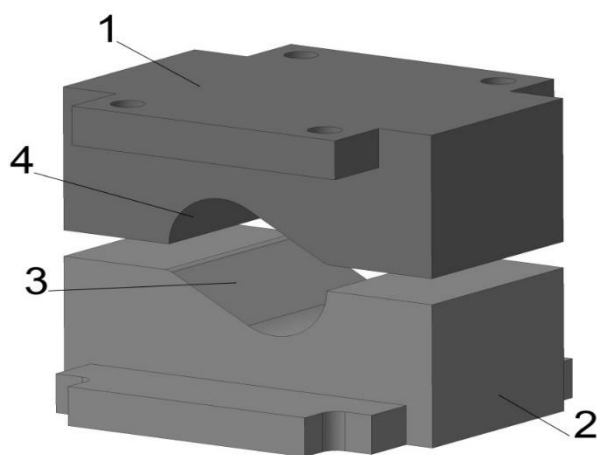
## **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF 7HG2VM STEEL BLANKS, SHAPED IN STRIKERS OF A NEW DESIGN, REALIZING ALTERNATING DEFORMATION**

*Annotation.* This work is devoted to the study of the mechanical properties of 7HG2VM steel blanks formed in strikers of a new design, realizing alternating deformations in the entire volume of the deformable metal without a significant change in the original dimensions.

Мировые тенденции развития металлургической и машиностроительной отрасли таковы, что потребители металлопродукции предъявляют все более высокие требования к характеристикам материалов, которые используются для ее изготовления. Одним из основных способов повышения механических и эксплуатационных свойств отлитого металла является горячая обработка давлением, и в частности ковка. При этом одной из основных операцийковки при получении длинномерных поковок является протяжка. Одним из основных направлений совершенствования процессов проковки литого металла является применение новых технологических процессов, позволяющих развивать во всем объеме деформируемого металла дополнительные знакопеременные (сдвиговые) деформации при несущественном изменении исходных

размеров заготовки. И в первую очередь на практике это достигается путем совершенствования конфигурации кузнечного инструмента.

Ранее нами был разработан новый кузнечный инструмент (рис. 1) дляковки поковок и заготовок круглого поперечного сечения [1]. И было проведено компьютерное моделирование в программном комплексе DEFORM ковки поковок в предложенном кузнечном инструменте, которое позволило определить оптимальные технологические и геометрические параметрыковки в данном кузнечном инструменте [2]. Также было исследовано и влияние процессаковки в предложенном кузнечном инструменте на эволюцию микроструктуры стали марки 7ХГ2ВМ [3]. Анализ результатов металлографических исследований показал, что развитие значительных знакопеременных деформаций во всем объеме деформируемого тела, при деформировании заготовок из стали 7ХГ2ВМ в предлагаемом кузнечном инструменте позволяет лучше прорабатывать литую структуру металла с получением мелкого равноосного зерна по всему объему деформированной заготовки без существенного изменения ее исходных размеров по сравнению с ковкой аналогичных заготовок по действующей технологии в плоских бойках.



1 – верхний боек; 2 – нижний боек; 3 – наклонная рабочая поверхность нижнего бойка; 4 – радиусная рабочая поверхность бойка, выполненная в виде сегмента окружности

**Рис. 1 – Конструкция инструмента для протяжки заготовок**

Целью данной работы было исследование механических свойств заготовок из стали марки 7ХГ2ВМ продеформированных в бойках новой конструкции, реализующих знакопеременные деформации во всем объеме деформируемого металла без существенного изменения исходных размеров.

Для достижения поставленной задачи был проведен лабораторный эксперимент по деформированию заготовок в бойках предлагаемой конструкции, реализующих знакопеременную деформацию. Для данного лабораторного эксперимента были подготовлены заготовки из стали марки 7ХГ2ВМ размерами  $D \times L = 40 \times 250$  мм. Для восстановления начальной структуры заготовок из стали 7ХГ2ВМ их перед деформированием подвергали отжигу при температуре  $780^{\circ}\text{C}$  с выдержкой 40 минут в камерной печи сопротивления.

Деформирование заготовок осуществляли следующим образом. Заготовки нагревали до температуры началаковки  $1000^{\circ}\text{C}$ , а затем их подавали в бойки новой конструкции и деформировали по схеме, приведенной в работе [2]. Далее, чтобы приблизить форму поперечного сечения продеформированной заготовки к круглой, нами была осуществлена серия обжатий заготовки в данных бойках с кантовкой ее на  $45^{\circ}$  сначала, а потом и на  $30^{\circ}$ . В результате были получены заготовки с формой поперечного сечения приближенной к кругу, и имеющие диаметр (усредненный) 31,4 мм.

Для проведения сравнительного анализа вторая партия заготовок из стали марки 7ХГ2ВМ аналогичного типоразмера была подвергнута протяжке в плоских бойках до диаметра 31,4 мм, т.е. с уклоном 1,62.

После деформирования из 3-х партий заготовок из стали 7ХГ2ВМ (откованных по предлагаемой технологии в новом кузнечном инструменте; по действующей технологии в плоских бойках; исходных) были изготовлены стандартные образцы на растяжение форма и размеры которых соответствовали ГОСТ 1497-84, и на ударную вязкость форма (концентратором вида U) и размеры которых соответствовали ГОСТ 9454-78. Испытание образцов на растяжение вели на универсальной электромеханической испытательной машине Shimadzu AG 100kNx в условиях Национальная научная лаборатория коллективного пользования по приоритету «Технологии для углеводородного и горно-металлургического секторов и связанных с ними сервисных отраслей» при АО «Институт металлургии и обогащения». Исследование ударной вязкости осуществляли на маятниковом копре ZBC2152 (SANS Group Company, Китай) в условиях Лаборатории кафедры «Обработка металлов давлением» Карагандинского индустриального университета. Все испытания, для исключения систематических ошибок, дублировались по 3-и раза.

Результаты исследования механических свойств заготовок из стали марки 7ХГ2ВМ до и после деформирования по предлагаемой

технологии в бойках новой конструкции и по действующей технологии в плоских бойках приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Механических свойств заготовок из стали марки 7ХГ2ВМ**

Инструмент	Свойство	Средние значения свойств	
		исходные	после деформирования
бойки новой конструкции	предел текучести $\sigma_T$ , МПа	348	479
	предел прочности $\sigma_B$ , МПа	495	675
	относительное удлинение $\delta$ , %	21,4	16,9
	ударная вязкость КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	38,2	76,3
плоские бойки	предел текучести $\sigma_T$ , МПа	348	452
	предел прочности $\sigma_B$ , МПа	495	631
	относительное удлинение $\delta$ , %	21,4	14,3
	ударная вязкость КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	38,2	59,1

Результаты механических испытаний показывают, что прочностные свойства стали 7ХГ2ВМ, продеформированной по предлагаемой и действующей технологиям в обоих случаях выросли. При этом предел текучести и предел прочности стали 7ХГ2ВМ, продеформированной по предлагаемой технологии в бойках новой конструкции, реализующих знакопеременную деформацию на 6-7% выше, чем эти же показатели у заготовки, деформированной в плоских бойках. Пластическая же характеристика (относительное удлинение) стали 7ХГ2ВМ, продеформированной по предлагаемой и действующей технологиям в обоих случаях уменьшилась. Но при этом пластическая характеристика заготовок, продеформированных в новых бойках, в среднем на 18% выше, полученных при ковке по действующей технологии в плоских бойках. В процессе изучения ударной вязкости металла, деформированного по выше приведенным схемам было выявлено, что склонность к хрупкому разрушению металла, откованного в новых бойках, реализующих знакопеременную деформацию, снижается в среднем на 29% по сравнению с заготовками полученными в плоских бойках.

**Вывод:** Результаты исследования механических свойств, полученные в процессе опытнойковки заготовок, доказывают, что развитие значительных знакопеременных деформаций во всем объеме деформируемого тела, при деформировании заготовок в предлагаемом

кузнечном инструменте, положительно влияет на изменение механических свойств полученных заготовок круглого поперечного сечения. Так анализ изменения механических свойств стали 7ХГ2ВМ после деформирования ее по предлагаемой технологии в бойках новой конструкции и в плоских бойках показал, что при деформировании данной марки стали по новой технологии прочностные характеристики в среднем на 6-7% выше, чем у данной стали продеформированной по действующей технологии. При этом при деформировании заготовок из стали 7ХГ2ВМ по предлагаемой технологии наблюдается меньшее падение пластических свойств, чем при деформировании их в плоских бойках, что положительно влияет на качество получаемых заготовок.

*Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант № АР09259236).*

#### **Список использованных источников**

1. Патент на полезную модель РК №5700. Инструмент для протяжки заготовок. Волокитина И.Е., Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А., Волокитин А.В. 2020. Бюл.52.

2. Lezhnev S., Naizabekov A., Panin E., Kuis D., Stepankin I. Разработка и компьютерное моделирование новой технологииковки с дополнительным макросдвигом// XVIII International Congress «Machines, Technologies, Materials», Bulgaria, Proceedings, 2021, Volume III. – p.282-286.

3. Лежнев С.Н. Эволюция микроструктуры экономнолегированной стали 7ХГ2ВМ в процессековки в инструменте новой конструкции, реализующем сдвиговые деформации// Сборник статей 2-й Международной конференции «Современные проблемы и направления развития металло-ведения и термической обработки металлов и сплавов», Курск, 2021. – С. 52-56.

**Ю. А. Храмкова**

Карагандинский университет имени Е.А. Букетова,  
Караганда, Казахстан

## **ЗРЕЛОСТЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ПОДРОСТКОВОМ ВОЗРАСТЕ**

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы развития и проявления профессиональных установок в разных возрастных группах подростков, а так же особенности восприятия будущей профессиональной успешности учащихся. Статья представляет собой исследование с помощью анализа текстов эссе подростков, диагностики зрелости профессиональных установок.*

**Y.A. Khramkova**

Karaganda State University named after Academician E.A. Buketova  
Karaganada, Kazakhstan

## **RIPENESS OF PROFESSIONAL ATTITUDES IN ADOLESCENCE**

***Abstract.** This article discusses the development and manifestation of professional attitudes in different age groups of adolescents, as well as the perception of the future professional success of students. The article is a study using the analysis of the texts of the essays of adolescents, diagnostics of the maturity of professional attitudes.*

Целью нашего исследования было изучение готовности подростка принимать профессионально важный выбор, решение, как объективное требование будущего профессионального выбора.

Экономика любого государства, в первую очередь, опирается на высококвалифицированные, профессиональные кадры. Выбор профессии для подрастающего поколения определяет дальнейшее направление всей экономики страны. Термин «*professio*» – буквально означает тот вид трудовой деятельности, который является источником существования человека. Высококласный специалист означает самую высокую степень профессиональных знаний и навыков, это звание приобретает многолетним трудом и обязательными достижениями в определенной области.

В настоящий момент в казахстанском образовании идут модернизационные процессы, они отражают характер современной экономики, специфика развития подготовки специалистов

ориентирована на качественное приобретение профессиональных знаний, умений и навыков. Идет интенсивный поиск новых методик профессионально ориентационной работы с самого раннего возраста. Поиск новых подходов к содержанию профориентационной работы в образовании связан с позицией государства в подготовке конкурентоспособных специалистов. В педагогическую практику вводятся новые понятия: профильная ориентация, профильный тест, профиль обучения, профиль образования, компетентность и компетенции, полиязычие, дуальное и модульное обучение и другие.

Актуальность профориентации для учащихся очевидна: важнейшей задачей школы является формирование полноценного гражданина своей страны, а это во многом зависит от того, чем будут заниматься бывшие зрелые школьники, какую профессию они выберут, где будут работать; грамотно построенная профориентационная работа – это решение завтрашних проблем, важный вклад в решение острых социальных задач [1]. Согласно концепции 12-летнего среднего образования в Республике Казахстан [2], профильное образование на старшем уровне 12-летней школы рассматривается как целостная система общеобразовательной профессионально-ориентированной подготовки учащихся, обеспечивающая на основе дифференциации образования получение старшеклассниками качественного общего среднего образования, а так же их готовность к осознанному профессиональному самоопределению, дальнейшему продолжению образования и трудовой деятельности.

По определению Л.Д. Столяренко, профориентация – это система мероприятий, направленных на выявление личностных особенностей, интересов и способностей каждого человека, оказание ему помощи в обоснованном выборе профессий, наиболее соответствующих его индивидуальным возможностям. Профессиональная ориентация, как понятие с научной основой стало формироваться около сотни лет тому назад. Оно было связано с именем основателя психотехники американского психолога Хьюго Мюнстерберга, который в начале XX века впервые стал разрабатывать и использовать психологические тесты для оценки профессиональных способностей человека.

Примерно в тоже время начинает формироваться новый раздел психологической науки – психология профессий. Но в СССР психотехника, включающая в себя и профориентацию была сформирована к середине 20-х годов прошлого века и в последствии только в 70-х годах профессиональная ориентация в СССР была реабилитирована. Современная советская профориентация была восстановлена благодаря трудам знаменитого психолога Евгения

Александровича Климова, работавшего тогда в Ленинграде в Институте профессионально-технического образования. Е.А. Климов основательно работал над теоретическими и методическими основами профессиографии и выбора профессии [3]. Созданная им классификация профессий до сих пор служит фактическим стандартом в России. Разделение профессий по предмету труда на типы «человек-человек», «человек-техника», «человек-знаковая система», «человек-художественный образ» и «человек-природа» вошло в большинство учебников, а популярная методика ДДО (дифференциально-диагностический опросник) для выявления профессиональных интересов стала известна всем психологам, многим педагогам и школьникам

К.М. Гуревич следующие типы профессий, связанные с определением требований, предъявляемых к сотруднику:

- профессии, где каждый здоровый человек может достичь общественно приемлемой эффективности деятельности;
- профессии, в которых далеко не каждый человек может добиться нужной эффективности;
- профессии, которые по своей сущности требуют достижения высших степеней мастерства, они предъявляют специфические требования к индивидуальным особенностям человека (профессии, требующие абсолютной профессиональной пригодности). Каждый тип профессии предъявляет определенные требования к тем или иным способностям и качествам человека [2, 457 стр.]

Диагностика профессиональных установок в профессиональной ориентации подростка безусловно важна, ведь помогает понять какова его готовность осуществить выбор, выявляет его самостоятельность и решительность.

Данное исследование проведено на базе гимназии им К. Сатпаева, с подростками уровень знаний и навыков которых, достаточно высокий. При вступлении в гимназию отбирают детей, высокомотивированных к обучению, интеллектуально развитых.

Методика разработана И. М. Кондаковым на основе методики «Шкала зрелости профессиональных установок» Дж. Крайтса. Она направлена на изучение профессиональных установок: готовности подростка принимать профессионально важные решения, которые, с позиции автора, обусловлены как объективными требованиями ситуации профессионального выбора, так и опытом решения жизненных задач.

Выборка составила 40 человек и представляет собой две группы разного возраста: группа младших подростков и старший



подростковый возраст, в каждой по 20 человек и одинаковое количество мальчиков и девочек.

В таблице 1, мы можем увидеть количественный анализ результатов в среднем по группам.

№	Название фактора	Возраст 10-11 лет	Возраст 14-15 лет
1.	Нерешительность профессионального выбора	2 б низкий уровень	1,5 б низкий уровень
2.	Рационализм профессионального выбора	7 б высокий	7 б высокий уровень
3.	Оптимизм в отношении профессионального будущего	5б средний уровень	5 б средний уровень
4.	Высокая самооценка	7 высокий уровень	6 б средний с тенденцией к высокому уровню
5.	Зависимость в профессиональном выборе	6 б средний с тенденцией к высокому уровню	4 б средний уровень

**Анализ результатов:** По первому фактору, представленному в табл. 1, мы получили низкие результаты, однако в возрасте от 14-15 лет этот фактор выражен в более низких результатах, что свидетельствует о высокой решительности и уверенности осуществления профессионального выбора.

По фактору *рационализм профессионального выбора*, получены высокие результаты в обеих группах, эти значения характеризуют основательность, рационализм, рассудочность, готовность действовать по плану.

Одинаковые данные получены в обеих возрастных группах получены и по фактору *оптимизм в отношении профессионального будущего*. В обеих группах они средние, что отражает средний уровень реализма профессионального выбора.

По фактору *высокая самооценка* значения выше в группе младших подростков, что свидетельствует о завышенной самооценке, и чрезмерной вере в свои силы и способности, чрезмерном доверии своему субъективному впечатлению, упорстве и готовности к преодолению трудностей.

Фактор *зависимость в профессиональном выборе* представлен в более выраженной разнице в группах В группе младших подростков он составляет 6 баллов, что является средним уровнем с тенденцией к высокому, однако в группе старшего подросткового возраста мы видим снижение этого показателя до уровня нижней границы среднего результата. Высокие значения характеризуют несамостоятельность, податливость, зависимость от других, социальную незрелость. Низкие значения свидетельствует о независимости в профессиональном выборе.

Таким образом мы видим, что с возрастом готовность к профессиональному выбору более выражена, что, не всегда приводит к осознанному выбору по ряду причин. Однако, можно в данном случае начинать профориентационную работу в возрасте 10-11 лет, так как опыт и знание будут выше, а самостоятельность в принятии решения будет расти. Так же будет развиваться осознанность-что является драйвером эмоционального интеллекта и влияет на развитие, самооценку и успешность подростка в целом.

#### **Список использованных источников**

1. Астана, 2011.–Концепция 12 – летнего среднего общего образования (проект).
2. Столяренко Л. Д. Педагогическая психология. –Ростов - на - Дону: Феникс, 2003. –544с.
3. Климов Е.А. Психология профессионального самоопределения: Учеб. пособие для студ. высш. пед учеб. заведений. – М.: Издательский цент «Академия», 2004. – 304 с.  
Регуш Л.А. Психология прогнозирования: успехи в познании будущего / Л.А. Регуш. Спб., Речь, 2003. — 352 с.: илл.
4. Анцыферова Л. И. Личность в трудных жизненных условиях: переосмысливание, преобразование ситуаций и психологическая защита//Психологический журнал.Т.15., №1.1994
5. Школа и выбор профессии / под ред. В. А. Полякова, С. Н. Чистяковой, Г. Г. Агаповой. – М.: Педагогика, 1987. –176с.

УДК619:616.995.7: 615.777/779: 636.4

**Ю.В. Матвейчук<sup>1</sup>, А.Р. Цыганов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ООО «НОРДХИМ», г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

## **НАДМОЛОЧНАЯ КИСЛОТА: СИНТЕЗ, АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ В ДЕЗИНФЕКЦИИ**

*Аннотация* В работе подобраны условия синтеза надмолочной кислоты (НМК), разработана доступная и экспрессная аналитическая методика определения ее концентрации. Разработанная методика синтеза НМК обеспечивает получение препарата с концентрацией 12-13% масс.

**Yu. V. Matveichuk<sup>1</sup>, A.R. Tsyganov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ООО «NORDHIM», Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University  
Minsk, Republic of Belarus

## **PERLACTIC ACID: SYNTHESIS, ANALYTICAL DETERMINATION AND APPLICATION IN DISINFECTION**

*Abstract* In the work, the conditions for the synthesis of perlactic acid (PLA) were selected, an accessible and express analytical method for determining its concentration was developed. The developed method for the synthesis of PLA provides for the preparation of a preparation with a concentration of 12-13% by weight.

Ассортимент антимикробных препаратов в последние годы существенно расширился, однако возрастает количество штаммов микроорганизмов [1], устойчивых к разным классам химических соединений. Исключить развитие резистентности микроорганизмов к антимикробному средству возможно только применением растворов с метастабильными действующими веществами [2]. Кроме того, такие средства, зачастую, не требуют смывания с обрабатываемых поверхностей.

Относительно новое направление разработки дезинфицирующих средств - композиции на основе растворов пероксида водорода с органической надкислотой [3]. Так, очень широкое применение получили препараты на основе надуксусной кислоты (НУК). Однако, несмотря на успешность применения средств на основе НУК многих потребителей отталкивает очень резкий, удушливый запах надуксусной кислоты [3]. В этом плане перспективным являются

препараты на основе надмолочной кислоты (НМК), которая не обладает резким запахом, при этом, не уступая по эффективности.

В настоящее время существует несколько фирм-производителей НМК: Himway (РФ, средства «САНВЭЙ ДЕЗ» с 1,0-4,0 % масс. НМК и 18,0-25,0 % масс.  $H_2O_2$  и «САНВЭЙ ТЕХ»), «ЭСТКО» (РБ, средство «ОКСИМОЛ»), ООО «Дал-Гешефт» (РБ, средство CLEARAN DEZ M с 1,0-5,0 % масс. НМК и 25,0-36,0 % масс.  $H_2O_2$ ) и др. Как видно из приведенной информации концентрация НМК в дезсредствах невысокая, что предполагает применение достаточно концентрированных рабочих растворов и, как следствие, удорожание дезинфекции объекта и увеличенный расход концентрата. Информация о синтезе НМК практически отсутствует.

Цель работы – синтез НМК высокой концентрации и разработка доступной методики определения ее концентрации, а также методики определения концентрации рабочих растворов и апробирование эффективности дезинфицирующего средства на ее основе на тест-культурах (*S. Aureus* ATCC 6538, *C. Albicans* ATCC 10231, *A. brasiliensis* ATCC 16404).

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Реагенты для синтеза:  $H_2O_2$  50% масс. (ПАО «Химпром», РФ),  $H_2O_2$  60% масс. (SOLVAY S.A. (Бельгия), молочная кислота 80% масс. (XENAN JINDAN LACTIC ACID TECHNOLOGY CO., LTD. (Китай)), этидроновая кислота 60 % масс. (HEMAN QINGSHUIYUAN TECH. CO., LTD. (Китай)), ортофосфорная кислота 85% масс. (WENGFU INTERTRADE LTD. (Китай)), серная кислота 94% масс. (АО «База №1 Химреактивов» (РФ)).

Реагенты для определения действующих веществ:  $H_2SO_4$  х.ч. (раствор 1:4); 0,100 н  $KMnO_4$  (фиксанал); KI 10% раствор; крахмал 1% раствор; 0,100 н  $Na_2S_2O_3$  (фиксанал).

Приборы и оборудование: весы ВЛТ-150-П ( $\pm 0,001$  г), весы METTLER TOLEDO AX 304 ( $\pm 0,0001$  г), магнитная мешалка HI 190 M, pH-метр HI 5222 (электрод комбинированный HI 1131), набор ареометров общего назначения АОН-1, термостат жидкостной низкотемпературный КРИО-ВИСТ-Т-06 (от -30 до +50 $^{\circ}C$ ), пипет-дозатор Thermo scientific (100-1000 мкл), термометр HI 98501 (Checktemp, -50 до + 150  $^{\circ}C$ ).

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

1. Синтез НМК (схема приведена на рис.1).

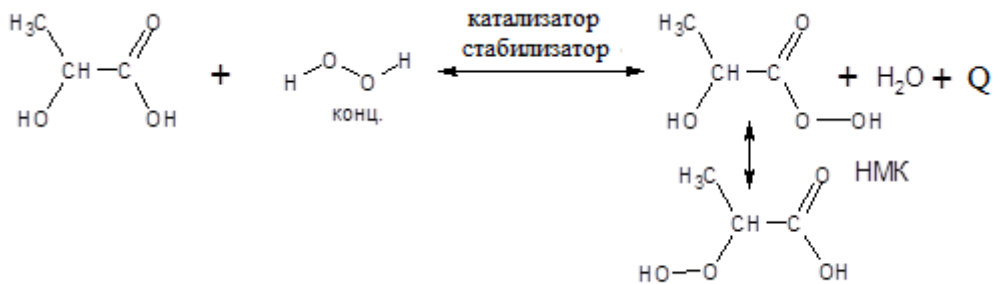


Рис. 1 - Схема синтеза НМК

Катализатором реакции выступает концентрированная серная кислота, стабилизатором-комплексообразователем – смесь этидроновой и ортофосфорной кислот. Мольное отношение перекиси водорода (60% масс.) к молочной кислоте составляет 3,63:1,00; перекиси водорода (50% масс.) к молочной кислоте – 3,03:1,00. Реактор перед синтезом выдерживается в 5% масс. растворе этидроновой кислоты в течение 30 – 40 минут и просушивается, и заполняется не более, чем на 50% от общего объема. Синтез проводится следующим образом: в стеклянный реактор вводится смесь перекиси водорода, серной, этидроновой и ортофосфорной кислот, а затем медленно (в течение 2-3 часов) при постоянном перемешивании добавляется молочная кислота. Исходная температура реакционной смеси составляла 22 °С, по окончании ввода молочной кислоты – 29 °С.

Продолжительность созревания НМК составляет 15-16 дней (при 20–22 °С) и достигает 19 дней при 3–6 °С. По истечении указанного времени при 20-22 °С массовая доля НМК достигает 12–13% масс. (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> при этом около 20% масс.), при 6 °С – массовая доля НМК достигает 9–10% масс. (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> при этом около 30% масс.).

Температура хранения НМК составляет 0 до + 25 °С. На конец 6-месячного цикла наблюдений (6 месяцев – это минимум срока годности для дезинфицирующих средств) при температуре 20-22 °С содержание НМК составило 6,5-7,0% масс., что больше, чем у конкурирующих фирм-производителей.

## 2. Методика определения концентрации НМК

При разработке методики титрования НМК опирались на результаты работ [4,5], где приводится информации о титровании НУК.

Колбы для титрования предварительно выдерживали в 5% масс. растворе этидроновой кислоты в течение не менее 15 минут. В коническую колбу помещали 25 мл дистиллированной воды, закрывали предметным стеклом или крышкой и помещали на весы. При помощи пипет-дозатора добавляли 280-320 мкл пробы средства. Записывали массу добавленного средства с точностью до ±0,0001 г. Затем добавляли

25 мл воды и 40 мл 4,5 моль/л серной кислоты и перемешивали. Сразу же начинали оттитровывать образец перманганатом калия при постоянном перемешивании с помощью магнитной мешалки (определение концентрации перекиси водорода). Вначале допустимо добавление титранта порциями по 5,0 мл, а затем порциями по 1,0 – 2,0 мл. При снижении скорости обесцвечивания раствора добавляли титрант по 2-3 капли и титровали до появления светло-розовой окраски, не исчезающей в течение 30-35 секунд (но не менее 30 с). Первое титрование выполняется как ориентировочное для оценки объема перманганата калия, который затрачивается на титрование. Общая продолжительность перманганатометрического титрования не должна превышать 5 минут, т.к. в противном случае отсутствует воспроизводимость результатов, что, видимо, связано быстрым разложением НМК в присутствии образовавшихся ионов марганца (II).

Далее незамедлительно вливали предварительно подготовленный 10% масс. йодистый калий (10 мл). Закрывали крышкой или предметным стеклом, ставили в темное место на 10 минут. Записывали объем израсходованного титранта (KMnO<sub>4</sub>).

Через 10 минут смывали желтые капли выделившегося йода с горлышка колбы и титровали тиосульфатом натрия до светло-желтой окраски, добавляли 3-4 капли крахмала и продолжали титрование до полного обесцвечивания раствора. Записывали объем израсходованного титранта (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Массовую долю пероксида водорода (% масс.) и надмолочной кислоты (НМК, % масс.) рассчитывали по формулам:

$$w(H_2O_2) = \frac{C(KMnO_4) \cdot V(KMnO_4) \cdot 1,70}{m};$$

$$w(НМК) = \frac{C(Na_2S_2O_3) \cdot V(Na_2S_2O_3) \cdot 5,303}{m}.$$

где V(KMnO<sub>4</sub>) – объем раствора марганцевокислого калия, израсходованного на титрование перекиси водорода, мл; C(KMnO<sub>4</sub>) – точная нормальная концентрация марганцевокислого калия, н; V(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – объем раствора серноватистокислого натрия C=0,100 н, израсходованного на титрование НМК, мл; C(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – точная нормальная концентрация тиосульфата натрия, израсходованного на титрование НМК, н; m – масса навески пробы средства, г; 1,70 – масса-эквивалента пероксида водорода с учетом пересчета в % масс.; 5,303 – масса-эквивалента надмолочной кислоты с учетом пересчета в % масс.

### *3. Антимикробная активность дезинфицирующего средства на основе надмолочной кислоты*

В таблице приведены некоторые результаты испытаний средства на основе НМК под торговым названием «КАТЕЛОН 504» на

антимикробную активность.

**Таблица 1 - Данные по антимикробной активности дезинфицирующего средства «КАТЕЛОН 504»**

Тест-культура	Условия (экспозиция, концентрация рабочего раствора средства «КАТЕЛОН 504», фактор редукции)
<i>S. aureus</i> ATCC 6538	20 <sup>0</sup> С; 5 мин; 0,0910% масс. RF=6,34
<i>C. albicans</i> ATCC 10231	20 <sup>0</sup> С; 5 мин; 0,273% масс. RF=5,98
<i>A.brasiliensis</i> ATCC 16404	20 <sup>0</sup> С; 5 мин; 2,50% масс. RF=5,25

Из таблицы 1 видно, что «КАТЕЛОН 504» проявляет бактерицидную (*S. aureus*), фунгицидную (*C. albicans*) активность, а также эффективен в отношении плесени (*A.brasiliensis*). В настоящее время проводятся дальнейшие испытания средства на туберкулоцидную, вирулицидную, спороцидную активность. Подбираются режимы «холодной» дезинфекции (при 0 °С).

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Синтезирована надмолочная кислота с содержанием основного вещества 12-13% масс. Подобраны условия синтеза: мольное отношение перекиси водорода (60% масс.) к молочной кислоте составляет 3,63:1,00; перекиси водорода (50% масс.) к молочной кислоте - 3,03:1,00. Синтез необходимо проводить в условиях постоянного охлаждения. Продолжительность созревания надмолочной кислоты – 15-16 суток при 20-22 °С. На конец 6-месячного цикла наблюдений содержание НМК составило 6,5-7,0% масс. Разработана доступная для любой производственной лаборатории методика определения концентрации НМК с помощью метода окислительно-восстановительного титрования. Дезинфицирующее средство на основе НМК проявило эффективность в отношении культур *S. Aureus* (RF=6,34), *C. Albicans* (RF=5,98), *A.brasiliensis* (RF=5,25).

### **Список использованных источников**

1. Бахир В.М., Вторенко В.И., Леонов Б.И. Эффективность и безопасность химических средств для дезинфекции, предстерилизационной очистки и стерилизации // Дезинфекционное дело. 2003. № 1. С. 32–39.
2. Alidjinou E.K., Sane F., Firquet S., Lobert P.-E., Hober D. Resistance of Enteric Viruses on Fomites // Intervirology. 2018. Vol. 61. P.205–213. DOI:10.1159/000448807.
3. Чижов А., Носик Н., Носик Д. Вирулицидная эффективность

дезинфицирующих средств. Сравнительный анализ. М.: Эдитус, 2019. 56 с.

4. Sode F. Analytical methods for peroxy acids – a review // Anal. methods. – 2019. Vol. 11. P. 3372–3380. DOI:10.1039/C9AY00860H.

5. Chen Cheng, Haodong Li, Jinling Wang, Hualin Wang, Xuejing Yang A review of measurement methods for peracetic acid (PAA) // Front. Environ. Sci. Eng. 2020. Vol. 14(5). P. 87-97. DOI:10.1007/s11783-020-1266-5.

УДК 504.5:631.4

**А.Р. Цыганов<sup>1</sup>, Г.А. Чернуха<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусская государственная сельскохозяйственная академия  
Горки, Республика Беларусь

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

*Аннотация.* Полиэлектролитные комплексы являются перспективными для исследования их влияния на физические свойства почв благодаря уникальным характеристикам, которые достигаются за счет специфических взаимодействий между составляющими их полимерами.

**A.R. Tsyganov<sup>1</sup>, G.A. Chernukha<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State Agricultural Academy  
Gorki, Republic of Belarus

## **APPLICATION OF WATER-SOLUBLE POLYMERS FOR THE PREVENTION OF SOIL DEGRADATION: CHALLENGES AND SOLUTIONS**

*Abstract.* Polyelectrolyte complexes are promising for the study of their effect on soil conditioning due to their unique characteristics, which are achieved by means of specific interactions between polymer constituents

Одной из глобальных задач человечества, на протяжении всей истории его существования, всегда была задача обеспечения людей продуктами питания. Основными видами питания человека являются



хлеб, овощи, продукты животноводства. Все это дает почва. Использование почвы для производства продуктов земледелия ведет к изменению природных свойств почв и их естественного состояния. Главное изменение выражается в снижении почвенного плодородия – основного свойства почв.

Площадь пахотнопригодных земель на планете Земля составляет 3 млрд. 278 млн. га, или 22 % всей площади суши. Современная мировая пашня занимает около 1,5 млрд. га. При этом разной степени деградации подвержены почти 2 млрд. га почв.

За исторический период человечество уже утратило около 2 млрд. га некогда плодородных почв, превратив их в антропогенные пустыни и неудобные земли. Потеря плодородных освоенных почв продолжается и в наше время. Ежегодно из сельскохозяйственного использования выбывает около 8 млн. га за счет отчуждения на другие хозяйственные нужды и около 7 млн. га – в результате различных процессов деградации. Таким образом, каждый год человечество в конце XX в. теряло около 15 млн. га продуктивных угодий. А между тем установлено, что процесс деградации почв идет с возрастающей скоростью: во второй половине прошлого века она увеличилась в 30 раз по сравнению со среднеисторической.

В связи с этим, систематическое улучшение структурного состояния почв является важнейшей задачей. На данном этапе для создания и сохранения структуры используют следующие агротехнические приемы: посев многолетних трав, внесение органических и минеральных удобрений, известкование кислых почв, рациональная обработка почв и др. Но для восстановления структуры почв этими методами требуется достаточно длительное время.

Поиск оперативных и эффективных способов улучшения почвенной структуры за счет применения почвоулучшающих препаратов различной природы ведется уже достаточно долго. Постоянно растущая необходимость проведения мероприятий по восстановлению и устойчивому повышению плодородия почвы ставит перед сельскохозяйственными научно-исследовательскими учреждениями задачу изыскания новых путей решения этой проблемы, в частности путем применения искусственных структурообразователей почвы.

В настоящее время в число стран - производителей структурообразователей почвы входят США, Германия, Великобритания, Франция, Швеция, Венгрия, Италия, Бельгия, Россия, страны СНГ. Многие страны являются крупными экспортерами своей продукции, Стоимость искусственных структурообразователей

достаточно высока, но во многих случаях их внесение в почву является пока единственным средством, с помощью которого удастся вовлечь в сельскохозяйственное производство низкопродуктивные земли.

Одним из недостатков полимерных препаратов, используемых для обработки почвы – это ограниченность времени их действия, что не всегда делает их применение экономически оправданным. С другой стороны полимеры по сравнению с минеральными и органическими веществами являются экологически чистыми веществами, т.к. при их разложении образуются углекислый газ, вода и аммоний.

За последние десятилетия были созданы и апробированы в качестве структурообразователей большое количество различных препаратов, но лишь единицы нашли практическое применение в земледелии. Это связано в первую очередь с тем, что, несмотря на их эффективность, они были очень дорогостоящи и не всегда обеспечивали экономически выгодную прибавку урожая.

Уже несколько десятилетий предметом интенсивных исследований являются природные полиэлектролиты. Уникальность химической структуры и функциональное разнообразие в сочетании с биосовместимостью, биоразлагаемостью, экологической безопасностью и неограниченной сырьевой базой открывают широкие возможности для их практического применения. Перспективным направлением в создании новых материалов является получение полиэлектролитных комплексов, которые представляют особый класс полимерных веществ, образующихся в результате соединения противоположно заряженных полиэлектролитов. Они образуются в результате кооперативных обратимых реакций соединения противоположно заряженных ионов и представляют собой интерполиэлектролитные соли [1]. Кооперативный характер связей между полиионами придает им очень высокую стабильность в широком интервале рН среды. Анионо- и катионогенные макромолекулы электростатически комплементарны друг другу, поэтому взаимодействие между ними в термодинамическом аспекте вполне аналогично взаимодействию между комплементарными биополимерами, ответственному за самосборку большинства биологических структур. Простейший способ получения полиэлектролитных комплексов – смешивание водных растворов, один из которых содержит полианионный, а другой – поликатионный компонент. Образование интерполиэлектролитных комплексов происходит в результате очень быстрой обратимой реакции ионного обмена.

Полиэлектrolитные комплексы являются привлекательными для исследования их влияния на физические свойства почв благодаря уникальным характеристикам, которые достигаются за счет специфических взаимодействий между составляющими их полимерами, таких как водородные связи, электростатические взаимодействия, Ван-дер-Ваальсовы силы или гидрофобные взаимодействия [2].

### Список использованных источников

1. Кабанов, В.А. Физико-химические основы и перспективы применения растворимых интерполиэлектrolитных комплексов (обзор) / Высокомолекулярные соединения, 1994. Т. 36. № 2. С. 183-197.
2. Зезин, А.Б., Полиэлектrolитные комплексы / А.Б. Зезин, В.Б. Рогачева / Успехи химии и физики полимеров. М.: Химия, 1973. – С. 3-30

УДК 621.726:621.78

**А.А. Шевченко<sup>1,2</sup>, Д.И. Сорока<sup>2</sup>, Т.М. Ульянова<sup>3</sup>  
В.С. Урбанович<sup>4</sup>, С.М. Барайшук<sup>1</sup>, В.Н. Болодон<sup>1</sup>, В.К. Долгий<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет,

<sup>2</sup>Институт порошковой металлургии НАН Беларуси,

<sup>3</sup>Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси,

<sup>4</sup>НПЦ НАН Беларуси по материаловедению

г. Минск, Беларусь

### **ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ПОРОШКОВ И РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И ЦИРКОНИЯ**

*Аннотация.* Исследована интенсивность изнашивания керамик на основе  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2$ , полученных из микро- и наноразмерных порошков по разным технологическим режимам. Наибольшей износостойкостью обладала керамика на основе  $Al_2O_3$ . Использование наноразмерных порошков, а также импульсного прессования с последующим спеканием существенно уменьшало износ керамических материалов.

**A.A. Shevchenok<sup>1,2</sup>, D.I. Soroka<sup>2</sup>, T.M. Ulyanova<sup>3</sup>,  
V.S. Urbanovich<sup>4</sup>, S.M. Baraishuk<sup>1</sup>, V.N. Bolodon<sup>1</sup>, V.K. Dolgiy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Agrarian Technical University,

<sup>2</sup>Institute of Powder Metallurgy of NAS of Belarus,

<sup>3</sup>Institute of General and Inorganic Chemistry of NAS of Belarus,

<sup>4</sup>Scientific-Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus  
Minsk, Belarus

## **INFLUENCE OF POWDERS DISPERSION AND PRODUCTION MODES ON WEAR RESISTANCE OF CERAMICS BASED ON ALUMINUM AND ZIRCONIUM OXIDES**

***Abstract.** The intensity of wear of ceramics based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZrO<sub>2</sub>, obtained from micro- and nanosized powders in different technological modes, has been investigated. Ceramics based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> had the highest wear resistance. The use of nanosized powders, as well as impulse pressing followed by sintering, significantly reduced the wear of ceramic materials.*

Износостойкая и эрозионностойкая керамика является основным материалом для изготовления конструктивных деталей, работающих в условиях вибраций, коррозионных и эрозионных факторов. При воздействии таких комплексных нагрузок на хрупкий материал главными параметрами, определяющими механизм износа, согласно модели распространения горизонтальной трещины, являются твердость и вязкость керамики, причем наиболее износостойким считается материал, в котором осуществлено оптимальное сочетание этих факторов. При этом размеры микроструктурных объектов, в частности размер зерна керамики, предопределяют выбор материала с наибольшей эрозионной стойкостью. Размером зерна керамики возможно эффективно управлять путем измельчения исходных компонентов, а также составом и способом введения добавок модифицирующих оксидов, позволяющих наследственно зафиксировать ультрадисперсное зерно в материале и регулировать его рост при спекании. В связи с этим целью данной работы является исследование износостойкости материалов, полученных из микро- и наноразмерных порошков оксидов алюминия и циркония в зависимости от технологических режимов изготовления.

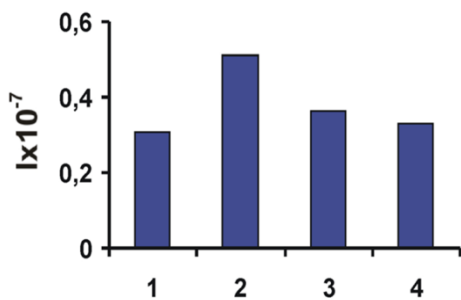
Эксперименты проводили на машине трения, в которой реализуется схема «плоскость - диск». Испытания проводились при скорости вращения 880 мин<sup>-1</sup> и нагрузке 50 Н. Интенсивность изнашивания определяли по формуле [1]:

$$\text{где } I_h - \text{интенсивно } I_h = \frac{\Delta V}{A_T L_T} = \frac{A_T * h}{A_T * L_T} = \frac{H}{L_T} = \frac{b^2}{8 * r * L_T};$$

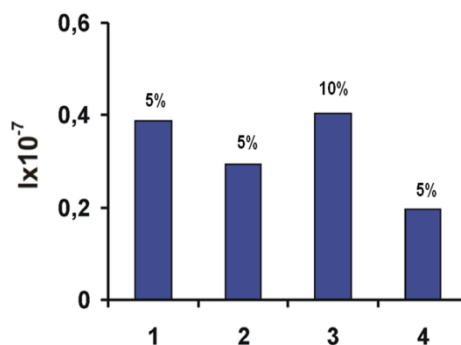
$A_T$  - площадь поверхности трения;  
 $L_T$  - путь трения;  
 $b$  - длина лунки;  
 $r$  - радиус истираемого диска

В качестве исходных материалов использовали промышленные микронные порошки  $Al_2O_3$  марки М1,  $ZrO_2$  и  $Y_2O_3$ . Композиции различных составов получали смешиванием в планетарной шаровой мельнице САНД исходных промышленных порошков, взятых в соответствующих весовых соотношениях. Часть экспериментов проведена на образцах, полученных из синтезированных темплатным методом в ИОНХ НАН Беларуси наноразмерных порошков  $ZrO_2$  (5масс. %  $Y_2O_3$ ) и композиции 80%  $ZrO_2$ (5масс. %  $Y_2O_3$ )-20%  $Al_2O_3$ . Образцы прессовали методами традиционного статического, импульсного прессования, последующее спекание проводили на воздухе в интервале температур 1400-1700°C [3-5]. Кроме того часть образцов получена спеканием при высоких давлениях (4 ГПа) и температурах (800-1500°C). Результаты экспериментальных исследований представлены на рис.1-4.

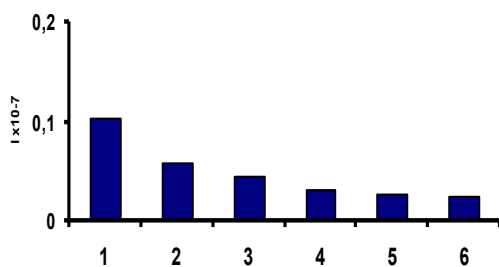
Исследования изменения интенсивности изнашивания образцов из нанопорошка  $ZrO_2$  (5масс.%  $Y_2O_3$ ) в зависимости от температуры спекания при давлении 4ГПа показали, что с увеличением температуры спекания износ керамики увеличивается, что, по-видимому, связано с фазовыми превращениями в  $ZrO_2$  (рис. 1). При температуре 800°C наблюдается наименьший износ. Интенсивность изнашивания керамики  $ZrO_2$  ( $Y_2O_3$ ) зависит от метода изготовления и типа используемых порошков (рис.3). Увеличение содержания стабилизирующей добавки  $Y_2O_3$  с 5 до 10масс.% (рис.2, образцы 1,3) в промышленные микронные порошки при одинаковых условиях получения не приводит к существенным изменениям интенсивности изнашивания.



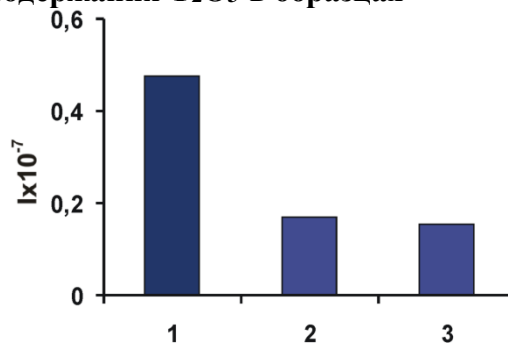
**Рис.1.** Изменение интенсивности изнашивания образцов керамики из наноструктурного порошка  $ZrO_2$  (5масс. %  $Y_2O_3$ ), полученных при давлении 4 ГПа, в зависимости от температуры спекания: 1 – 800°C; 2 – 1000°C; 3 – 1200°C; 4 – 1500°C



**Рис.2.** Изменение интенсивности изнашивания образцов керамики из спрессованных традиционным методом промышленных порошков состава  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$ : (1,3)-(1700°C, 1ч), (2)-(1580°C, 2ч) и наноструктурного порошка (4)-(1580°C, 2ч) в зависимости от режимов изготовления и процентного содержания  $Y_2O_3$  в образцах



**Рис.3.** Изменение интенсивности изнашивания экспериментальных образцов в зависимости от дисперсности исходных порошков  $Al_2O_3$  (спекание 1600 °C, 1ч): 1- исходный порошок ( $d \sim 1$  мкм); 2- помол 4 ч ( $d \sim 0,6$  мкм); 3 - помол 7 ч ( $d \sim 0,25$  мкм); 4 – нанопорошок (плазмохимический синтез ( $d \sim 0,1$  мкм)); 5 - нанопорошок (взрыв проволоки  $d \sim 0,05$  мкм); 6 – образец из порошка 5, импульс. пресс.



**Рис. 4.** Изменение интенсивности изнашивания образцов композитов состава  $80\%ZrO_2(5\text{масс.}\% Y_2O_3)+20\%Al_2O_3$  из промышленных порошков(1,2) и наноструктурного порошка(3) в зависимости от режимов изготовления и типа используемых порошков: 1-стат. пресс.+1580°C, 2ч; 2,3-импульсное пресс. +1580°C, 2ч.

Увеличение температуры спекания с 1580°C (рис. 2, обр.2) до 1700 °C (рис. 2, обр.3) приводит к увеличению износа, что, вероятно, связано с существенным ростом размера зерна получаемой керамики  $ZrO_2$  (10масс.%  $Y_2O_3$ ). Наименьший износ наблюдается на образцах из

нанопорошков состава  $ZrO_2$  (5мас.% $Y_2O_3$ ), спеченных при температуре 1580°C, 2 ч. (рис.2, обр. 4). Легирующие добавки к микронным порошкам на основе  $Al_2O_3$  приводили к уменьшению интенсивности изнашивания, причем наименьший износ наблюдался на образцах (спекание 1580°C, 2 ч) с легирующей добавкой MgO. Изменение дисперсности исходных порошков  $Al_2O_3$  с 1 мкм до 100-50 нм более чем в 2 раза уменьшало интенсивность изнашивания экспериментальных образцов.

На рис. 4 представлены результаты изменения интенсивности изнашивания композита состава 80%  $ZrO_2$ (5мас.%  $Y_2O_3$ )+20%  $Al_2O_3$  в зависимости от режимов изготовления и типа используемых порошков. Наибольший износ наблюдается на образце, полученном из промышленных порошков традиционным прессованием (рис. 4, обр.1). На образцах, полученных импульсным прессованием (рис.4, обр. 2,3), наблюдается существенное уменьшение (на 40-50%) интенсивности изнашивания композита по сравнению со статическим прессованием (рис. 4, обр.1). Причем износ композита из наноразмерных порошков был наименьшим (рис.4, обр.3).

Таким образом, проведенные исследования показывают, что тип используемых исходных порошков, их дисперсность и режимы изготовления керамических образцов существенно влияют на износ. Среди исследованных материалов наибольшей износостойкостью обладает керамика на основе  $Al_2O_3$ . Использование в качестве исходных материалов наноразмерных порошков, а также импульсного прессования с последующим спеканием существенно уменьшает износ керамических материалов. Это обусловлено в последнем случае более высокими физико-механическими свойствами экспериментальных образцов на основе  $ZrO_2$  (микротвердостью до 12-14 ГПа и трещиностойкостью более 6-8 МПа·м<sup>1/2</sup>), чем в случае использования промышленных порошков и традиционных методов прессования и спекания.

### **Список использованных источников**

1. В.В.Савич, Л.Н.Дьячкова, Н.А.Шипица и др. Спеченные порошковые материалы: методы и приборы контроля свойств исходных порошков, исследования структуры и эксплуатационных характеристик изделий из них. Мн: «Геопринт», 2008, С.318.
2. B. Ivkovic, D. Jesic. Machinability of steels and austempered ductile irons – runking test on tribometer pin on disk. // World Tribology Congress (8-12 September, London, 1997) p.610.

3. Витязь П.А., Крутько Н.П., Ульянова Т.М., Шевченко А. А., Овсеенко Л.В., Кашаед Е.А. Роль наноструктурных модификаторов при получении композиционной корундовой керамики. // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серія хімічных навук. 2019. Т. 55, № 4. С. 400-414.
4. Шевченко А.А., Долгий В.К., Барайшук С.М., Ульянова Т.М., Кашаед Е.А. Влияние фазового состава наноструктурных добавок на структуру и свойства керамики на основе оксида алюминия. / Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные технологии и материалы: Нанобудущее 2020», Севастополь, 14-16 октября 2020г, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», с. 175-179.
5. Ulyanova T.M., Vitiaz P.A., Krutko N.P., Ovseenko L.V., Shevchenok A.A., Titova L.V., Luchenok A.R Composite ceramics based on nanostructured refractory oxide whiskers / Advances in Materials 2014.-3(5).-33-37.

УДК 544.236.4

**А.А. Шестаков<sup>1</sup>, А.Е. Брестер<sup>1</sup>, Н.И. Лапекин<sup>1</sup>,  
Н.С. Лазаренко<sup>1</sup>, К.В. Вишнеvский<sup>2</sup>, А.Г. Баннов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Республика Беларусь

### **ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ВЯЗКОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ DER-331**

*Аннотация.* В данной работе проводилось исследование технологических характеристик системы эпоксидная смола/технический углерод (ТУ) в зависимости от концентрации наполнителя. Были проанализированы реологические характеристики системы эпоксидная смола DER-331/ТУ. В качестве полимерной матрицы использовалась эпоксидная смола DER-331 на основе бисфенола А.

**A.A. Shestakov<sup>1</sup>, A.E. Brester<sup>1</sup>, N.I. Lapekin<sup>1</sup>  
N.S. Lazarenko<sup>1</sup>, K.V. Vishnevsky<sup>2</sup>, A.G. Bannov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Novosibirsk State Technological University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus



## THE EFFECT OF THE ADDITION OF CARBON BLACK ON THE VISCOSITY OF COMPOSITIONS BASED ON EPOXY RESIN DER-331

*Abstract. In this work, we investigated the technological characteristics of the epoxy resin / carbon black (TC) system depending on the concentration of the filler. The rheological characteristics of the DER-331 / TU epoxy resin system have been analyzed. DER-331 epoxy resin based on bisphenol A was used as a polymer matrix.*

В последнее время доля использования эпоксидных смол в различных приложениях постоянно увеличивается. Однако, чистые эпоксидные смолы не представляют такого большого интереса, как наполненные эпоксидные смолы. Варьируя количество и тип наполнителя, можно менять свойства получаемых систем [1].

Вязкость - это важное свойство, которое необходимо учитывать при переработке пластических масс. Обычно ее измеряют при температуре, соответствующей этим операциям. Вязкость зависит от молярной массы, распределения молярной массы, химического состава смолы и наличия модификаторов или растворителей. Для смол с вязкостью около 4-10 Па·с при комнатной температуре, следует понимать, что для работы с такими вязкими смолами может потребоваться нагревание перед обработкой [2].

Поведение систем с добавлением технического углерода различного типа представляет значительный интерес для практического применения данной марки на производстве. В данной работе рассматривали технический углерод Alfa Aesar™.

Эпоксидный эквивалент является мерой содержания эпоксидных групп. Это вес смолы, содержащей химический эквивалент эпоксидной смолы.

В качестве полимерной матрицы использовалась эпоксидная смола DER-331 на основе бисфенола А (DOW Chemical, Германия) (с содержанием эпоксидных групп 5200–5500 моль/кг и средней молекулярной массой 340 г/моль).

Технический углерод (Alfa Aesar™) использовался в качестве наполнителя. Использовали концентрации наполнителя в диапазоне от 0 до 0,5 phr. Можно отметить, что концентрация ТУ в композитах была относительно низкой, так как большинство композитов имеют содержание наполнителя более 10 phr. Поэтому ТУ в композиционном материале можно рассматривать в качестве добавки.

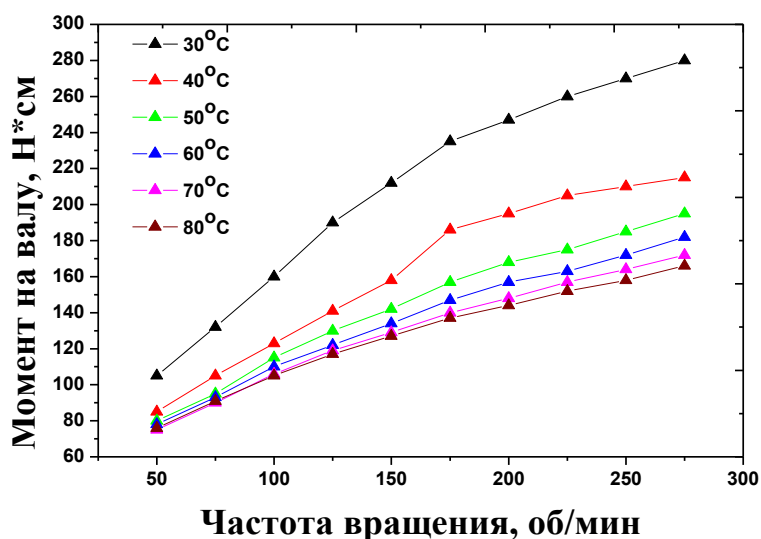


Рис. 1 – Реологические кривые чистого эпоксидного олигомера

Технологические параметры смешения эпоксидной смолы с техническим углеродом измеряли с помощью устройства с механической мешалкой ИКА Eurostar Power Control-Visc P7 для обработки высоковязких сред. Тип мешалки – якорная эмалированная, число лопастей – 2. Тип внутреннего устройства мешалки – одиночный цилиндр. Соотношение размеров  $h/d=20/15$ . Коэффициент сопротивления  $z=0,65$ . Диапазон вращающего момента составляет 8-290 об/мин. Максимальная вязкость, допустимая для перемешивания – 150000 мПа·с.

На рис. 1 представлена зависимость крутящего момента на валу от частоты вращения мешалки для смеси DER-331/ТУ. Видно, что крутящий момент на валу растет с увеличением частоты вращения. При 30-40°C наблюдается нелинейная зависимость, а дальнейшее повышение температуры выше 50°C сделало форму кривой более линейной. Для чистой смолы при 175 об/мин и 40°C крутящий момент вала немного увеличивается.

Резкий максимум наблюдался также для композита ЭС/ТУ-0,5 phr при 200 об/мин и 30°C. Как видно из полученных данных, повышенная вязкость смеси эпоксидная смола/технический углерод наблюдалась при относительно низких температурах (30-40°C).

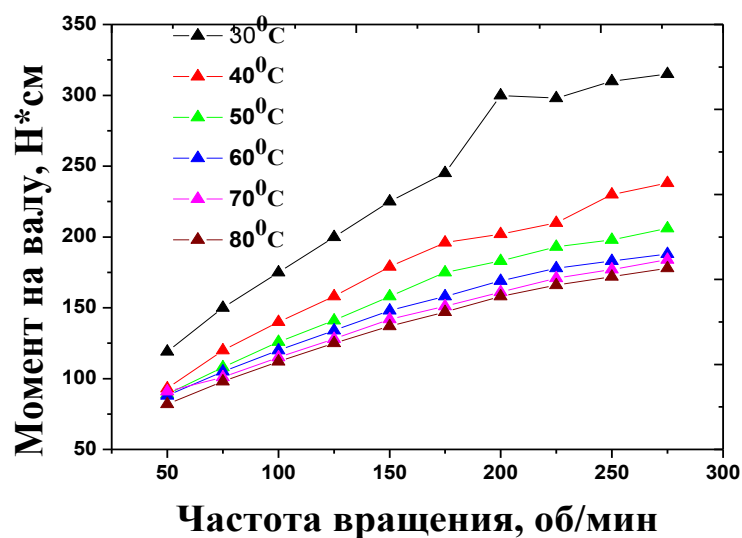


Рис. 2 – Реологические кривые смеси эпоксидного олигомера и 0,5 phr ТУ

На рис. 2 представлены реологические кривые смеси эпоксидного олигомера и 0,5 phr ТУ. Загрузка 0,5 phr технического углерода привела к увеличению кажущейся вязкости композитной смеси только при 30°C, где зафиксировано увеличение максимального крутящего момента на валу (при 275 об/мин) с 280 Н·см до 315 Н·см.

Данные реологические кривые были аппроксимированы для получения коэффициентов, чтобы можно было предсказать вязкость системы при любом количестве оборотов. В качестве аппроксимирующей функции была выбрана степенная функция  $y=a \cdot x^b$ . Полученные коэффициенты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты зависимости момента на валу от температуры

Содержание ТУ, phr	t, °C	a	b	Стандартная погрешность коэффициента a, (±)	Стандартная погрешность коэффициента b, (±)
0	30	12,12363	0,56497	1,62934	0,02568
	40	9,41184	0,56487	1,51799	0,03082
	50	10,00095	0,52973	0,53013	0,01015
	60	10,90682	0,50093	0,4363	0,00767
	70	11,24701	0,48635	0,34258	0,00585
	80	12,9096	0,45513	0,35558	0,0053
Содержание ТУ, phr	t, °C	a	b	Стандартная погрешность	Стандартная погрешность

				коэффициента a, (±)	коэффициента b, (±)
0,5	30	11,19335	0,60221	2,28218	0,03888
	40	12,16843	0,53106	1,09688	0,01726
	50	12,89737	0,49744	1,14081	0,01697
	60	14,97568	0,45438	0,88769	0,01141
	70	15,10166	0,44585	0,93788	0,01196
	80	13,40166	0,46292	0,52937	0,0076

При увеличении числа оборотов мешалки, более отчетливо видна зависимость момента на валу от температуры. Добавление ТУ в систему увеличивает значение момента на валу, соответственно, увеличивается и вязкость системы.

### **Список использованных источников**

1. Straub, S. Comparison of the Processing of Epoxy Resins in Pultrusion with Open Bath Impregnation and Closed-Injection Pultrusion / A. Senz, J. Ellinger // J. Compos. Sci. – 2019. – Vol. 3. – P. 87.
2. Huang, Y.D. Influence of ultrasonic treatment on the characteristics of epoxy resin and the interfacial property of its carbon fiber composites / L. Liu, J.H. Qiu, L. Shao // Compos. Sci. Technol. – 2002. – Vol. 62. – P. 2153–2159.

### *БЛАГОДАРНОСТИ*

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2020-0008).*

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 2. МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО

	Стр.
<i>Назаров З.С., Савзаева Ш.Х., Назаров Б.Ш., Азимов Д.С., Назаров Ш.Б.</i> МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС СПОСОБА КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ШЛАМОВОГО ПОЛЯ ГУП «ТАЛКО», ВОДНОЙ ОТМЫВКИ И АЗОТНО-КИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ТВЕРДЕГО ОСТАТКА ОТ ВОДНОЙ ОБРАБОТКИ.....	3
<i>Тураева З.С., Назаров Б.Ш., Назаров Ш.Б., Азимов Д.С.</i> ПОЛУЧЕНИЕ КРИОЛИТА ИЗ СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ.....	6
<i>Юркин Ю.В., Авдонин В.В., Варанкина Д.А., Рогожкин Р.С.</i> МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ.....	11
<i>Хандамова Д., Шодмонов Б., Толипова Х.С., Алихонова З.С., Нуруллаев Ш.П.</i> ОЧИСТКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ КИСЛЫХ ГАЗОВ АДСОРБЕНТОМ МОДИФИЦИРОВАННЫМ ТМА И ТЭА.....	17
<i>Андрейчик А.Е., Синица С.И.</i> ТЕРМОЧЕХЛЫ – ЭФФЕКТИВНАЯ ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ.....	21
<i>Барайшук С.М., Вертель М., Будзинский М., Бобрович О.Г., Михалкови<sup>4</sup> О.М.</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ, ОСАЖДЕННЫХ НА КРЕМНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ Mo, Cr.....	25
<i>Баширов А.В.</i> РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ИСКУССТВЕННЫМ ЛЬДОМ И ЕСТЕСТВЕННЫМ ЛЬДОМ НА ЛЕДОВОЙ АРЕНЕ.....	29
<i>Богомазова Н.В., Жарский И.М.</i> СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ГЕТЕРОСТРУКТУР ZnO/SnS.....	34
<i>Бойко А.А., Невзоров В.В.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ФОРМОВКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УПОРЯДОЧЕННОЙ ПОРИСТОСТЬЮ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ.....	40
<i>Боуфал В.П., Пянко А.В., Черник А.А.</i> ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ Sn-Ni-TiO <sub>2</sub> .....	46
<i>Гапонова Т.А., Брайкова А.М., Гудыно К.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АНТИСЕПТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ.....	48
<i>Тошбоев Х.М., Нуруллаев Ш.П.</i> УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛЕНОВОГО МОНОМЕРА МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА НА ШГХК.....	53
<i>Воробей К.И., Тимошенко Е.В.</i> ЭКОПОЛЕНЬЯ ИЗ ЛИСТЬЕВ: МИФ ИЛИ ПРАВДА?.....	58
<i>Калиниченко А.С., Лугин В.Г.</i> НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ.....	62
<i>Камбар Д.С., Сейсембекова Т.Е., Командир Б.В., Аймуханов А.К., Зейниденов А.К.</i> КОНКУРЕНТНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА В ИНВЕРТИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК SnO <sub>2</sub> .....	66

<i>Касперович А.В., Касперович О.М., Петрушеня А.Ф., Ленартович Л.А.</i> ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА.....	70
<i>Кириллова Э.А., Микрюкова Е.В.</i> МНОГОСЛОЙНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРЫ.....	74
<i>Ковалева А.А., Кулевец П.С., Нестерова С.В., Опимах Е.В.</i> ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА ЛАУРИЛСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ НА КРАЕВОЙ УГОЛ СМАЧИВАНИЯ АБС-ПЛАСТИКА.....	77
<i>Коваленко Н.А., Супиченко Г.Н., Ахрамович Т.И.</i> АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНОГО МАСЛА <i>PINUS STROBUS</i> L.....	79
<i>Колос А.М.</i> СОСТАВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ЭКСТРАКТОВ <i>Achillea millefolium</i> L. В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ.....	84
<i>Ларионов П.С., Павлюкевич Ю.Г., Каврус И.В.</i> ПИРОКСЕНОВЫЙ ТВЕРДЫЙ РАСТВОР ТИПА АВГИТА В СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ.....	88
<i>Левицкий И.А., Кичкайло О.В.</i> ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ЛИТИЙАЛЮМОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКЕ.....	91
<i>Левицкий И.А., Пунько И.О.</i> ТИТАНОСОДЕРЖАЩИЕ ГЛАЗУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПОВЫШЕННОЙ БЕЛИЗНЫ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА.....	96
<i>Левицкий И.А., Саплев А.В.</i> КЕРАМИЧЕСКИЕ МАССЫ ДЛЯ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТОК НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	102
<i>Лизунов О.А., Сулейменов О.Т.</i> ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММАХ- ВЫМОГАТЕЛЯХ.....	107
<i>Мастич А. А., Липская О.А.</i> ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА НА ПРОИЗРОСТАНИЕ ЕЛИ КОЛЮЧЕЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА ГОМЕЛЯ.....	112
<i>Невзорова А.Б., Михальченко А.А.</i> ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ ТРАНСПОРТИРОВКА ОТХОДОВ В ПОДЗЕМНОМ ТРУБОПРОВОДЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И РЕАЛЬНОСТЬ В БЕЛАРУСИ.....	116
<i>Маматов А.М., Тошбоев Х.М., Нуруллаев Ш.П.</i> ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ АМИНОВ И МИДОВ.....	121
<i>Омарбекова Г.И., Аймуханов А.К., Ильясов Б.Р., Мухамеджанова А. М.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК $IN_2O_3$ .....	124
<i>Панасюгин А.С., Цыганов А.Р., Ломоносов В.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКРАНОВ ЭМИ ПОГЛАЩЕНИЯ.....	128
<i>Панасюгин А.С. Павловский Н.Д., Машерова Н.П., Цыганов А.Р., Курило И.И.</i> ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПАРОВ РАСТВОРИТЕЛЯ 647 АДСОРБЦИОННО- КАТАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	134
<i>Поспелов А.В.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА РАСТВОРИМОСТЬ ОЗОНА.....	140
<i>Поспелов А.В.</i> ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОРРОЗИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МАРКИ СТ 3 В ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ РАСТВОРАХ И В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ОЗОНА.....	143
<i>Пузатко В.Е.</i> РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОБЩЕСТВА И ГОСУДАРСТВА .....	147

<i>Рожкова К.С., Аймуханов А.К., Ильясов Б.Р., Сулейменова М.С.</i> ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ PEDOT: PSS НА ТРАНСПОРТ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА.....	151
<i>Савинцова Т.В.</i> СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЛАКТИДА.....	155
<i>Сенницкий В. Л.</i> УСКОРЕННОЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА И ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ.....	160
<i>Спектор С.М.</i> ЭФФЕКТ ЛОТОСА НА ЗАЩИТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	164
<i>Лежнев С.Н., Найзабеков А.Б., Панин Е.А., Куис Д.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАГОТОВОК ИЗ СТАЛИ МАРКИ 7ХГ2ВМ, ПРОДЕФОРМИРОВАННЫХ В БОЙКАХ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ЗНАКОПЕРЕМЕННУЮ ДЕФОРМАЦИЮ.....	169
<i>Храмкова Ю. А.</i> ЗРЕЛОСТЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ПОДРОСТКОВОМ ВОЗРАСТЕ.....	174
<i>Матвейчук Ю.В., Цыганов А.Р.</i> НАДМОЛОЧНАЯ КИСЛОТА: СИНТЕЗ, АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ В ДЕЗИНФЕКЦИИ....	179
<i>Цыганов А.Р., Чернуха Г.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....	184
<i>Шевченко А.А., Сорока Д.И., Ульянова Т.М., Урбанович В.С., Барайшук С.М., Болодон В.Н., Долгий В.К.</i> ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ПОРОШКОВ И РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И ЦИРКОНИЯ.....	187
<i>Шестаков А.А., Брестер А.Е., Лапекин Н.И., Лазаренко Н.С., Вишневский К.В., Баннов А.Г.</i> ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ВЯЗКОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ DER-331	192

Научное издание

**ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО**

Сборник статей IV Международной научно-технической конференции  
«Минские научные чтения-2021»

В 3-х томах

Том 2

Электронный ресурс

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*А.С. Калиниченко, Т.Л. Карпович*

Усл. печ. л. 11,63. Уч.-изд. л. 12,00.

Полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя и  
распространителя печатных изданий

№1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.