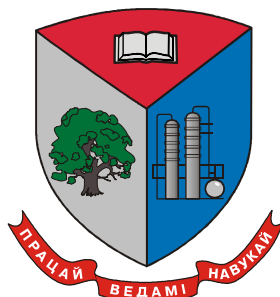


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»



**69-я НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ УЧАЩИХСЯ,  
СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ**

2–13 апреля 2018 г.

**СБОРНИК НАУЧНЫХ РАБОТ**

В 4-х частях

Часть 2

Минск 2018

УДК 005.745:378.6](476)(06)

ББК 66.75

Ш52

**69-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов:** сб. науч. работ : в 4-х ч. – Минск : БГТУ, 2018. – Ч. 2. – 640 с.

Сборник научных работ студентов и магистрантов университета составлен по итогам 69-й студенческой научно-технической конференции Белорусского государственного технологического университета, проведенной с 2 по 13 апреля 2018 г. На конференции было заслушано 1867 докладов, лучшие из них представлены в данном сборнике. Материалы содержат результаты научных исследований студентов, посвященные актуальным вопросам лесоводства, лесоустройства, лесозащиты, технологии и техники лесной промышленности, химической технологии и техники, неорганических веществ, вяжущих материалов, технологии стекла и керамики, технологии электрохимических производств, экологии, синтеза новых органических и неорганических материалов, экономики, издательского дела и полиграфии, информационных технологий. Также представлены доклады, посвященные энергосбережению, безопасности технологических процессов и производств, контролю качества и безопасности веществ, материалов и изделий.

Сборник предназначен для использования специалистами соответствующих отраслей народного хозяйства, научными работниками и преподавателями, а также студентами и магистрантами.

Рецензенты:

декан факультета ХТиТ

Ю.А.Климош

декан факультета ТОВ

Ю.С.Радченко

Редакционная коллегия:

профессор кафедры ТНСиППМ, докт.техн.наук

Э.Т. Крутько

профессор кафедры ТСиК, докт.техн.наук

И.А. Левицкий

зав.кафедрой ХПД, докт.техн.наук

Н.В. Черная

канд.физ.-мат.наук, зав.кафедрой ФХМСП

С.С. Ветохин

зав.кафедрой Х,ТЭПиМЭТ, канд. хим. наук

А.А. Черник

доцент кафедры ФХМСП, канд. хим. наук

О.В. Стасевич

доцент кафедры пром.экологии, канд.техн.наук

О.С.Залыгина

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2018

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ДОРМЕШКИН О.Б. – проректор по научной работе (председатель);

САКОВИЧ А.А. – проректор по учебной работе (зам. председателя);

НАСОНОВ М.Д. – начальник учебно-методического отдела;

ЧЕРНИК Е.О. – зав. сектором ИВОНД;

ЛЕВИТСКАЯ А.А. – инж. сектора ИВОНД;

ШИМАН Д.В. – ответственный за НИРС факультета ЛХ, канд. с/х. наук, доцент кафедры лесоводства;

СИМАНОВИЧ В.А. – ответственный за НИРС факультета ТТЛП, канд. техн. наук, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства;

СТАСЕВИЧ О.В. – ответственная за НИРС факультета ТОВ, канд. хим. наук, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции;

ЗАЛЫГИНА О.С. – ответственная за НИРС факультета ХТиТ, канд. техн. наук, доцент кафедры промышленной экологии;

ШИШЛО С.В. – ответственный за НИРС факультета ИЭ, канд. эконом. наук, доцент кафедры экономической теории и маркетинга;

МЕДЯК Д.М. – ответственная за НИРС факультета ПиМ, канд. техн. наук, доцент кафедры полиграфических производств;

ЯРОЦКАЯ Л.Д. – ответственная за НИРС факультета ИТ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

МАЛЬ Ю.В. – методист учебно-методического отдела, ответственная за работу с колледжами БГТУ.

**Секция**

**ТЕХНОЛОГИИ**

**ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

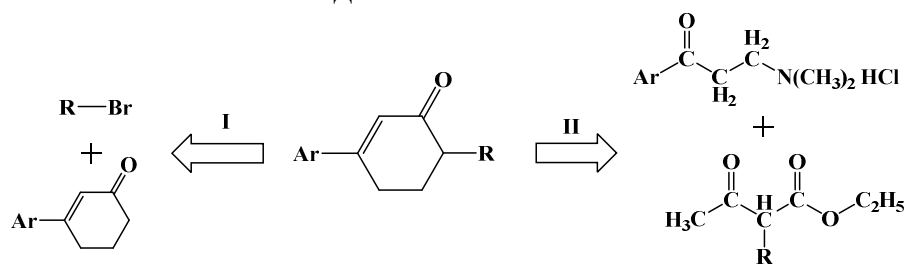
УДК 547.594.4

Студ. А.И. Савельев, А.В. Сивец, аспирант А.С. Орёл  
 Науч. рук. зав. кафедрой С.Г. Михалёнок,  
 проф. В.С. Безбородов  
 (кафедра органической химии, БГТУ)

## СИНТЕЗ ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ КЕТОНОВ

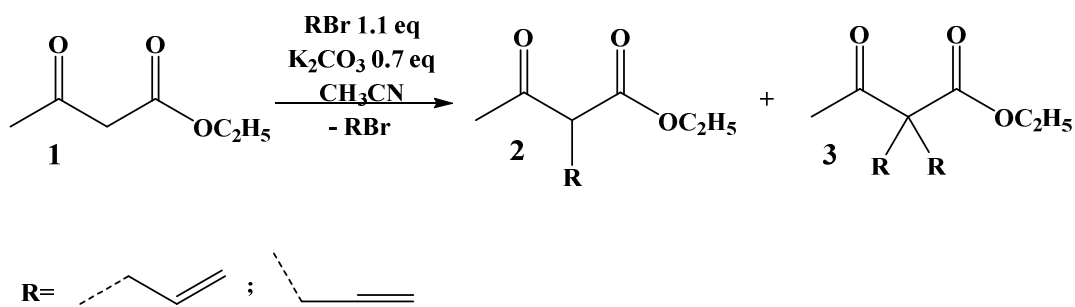
Цель данной работы заключалась в синтезе полиненасыщенных кетонов. Наличие в полиненасыщенных кетонах нескольких функциональных групп обуславливает их высокую реакционную способность и вариабельность, что делает возможным получение на их основе широкого круга практически полезных соединений. Полиненасыщенные кетоны являются предшественниками многих биологически активных соединений [1], а также полупродуктами в синтезе широкого круга гетероциклических соединений [2] и соединений способных существовать в жидкокристаллической фазе.

В настоящее время известно много способов получения 6-алкил-3-арилциклогексенонов. Многие из них заключаются в алкилировании 3-арилциклогексенонов различными регентами. Однако реализация стратегии I требует специфических условий. В связи с этим в данной работе был использован путь II синтеза, заключающийся в построении циклогексенонового кольца из синтонов, уже содержащих все необходимые заместители (арильную и алкильную группы), что позволило обойти названный недостаток.

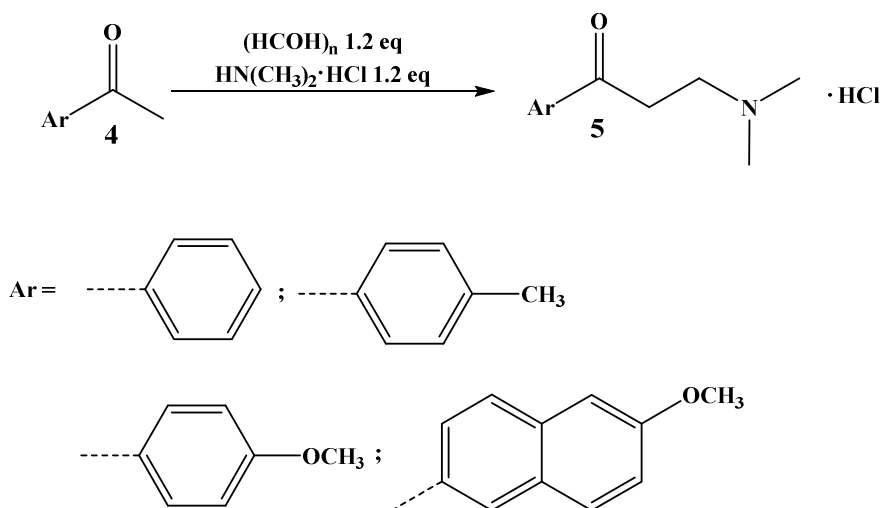


6-Алкил-3-арилциклогексеноны были синтезированы из соответствующих солей Манниха и алкилацетоуксусного эфира. С целью получения монозамещённого ацетоуксусного эфира проводили реакцию с использованием поташа в качестве основания, при соотношении ацетоуксусный эфир 1:RBr:K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 1:1,1:0,7 в растворе ацетонитрила. В соответствии с данной методикой был осуществлён синтез ненасыщенных кетоэфиров, реакция сопровождалась образованием смеси продуктов моно- и бисалкилирования (2 и 3 соответственно). Была опробована методика с использованием в качестве основания этилата

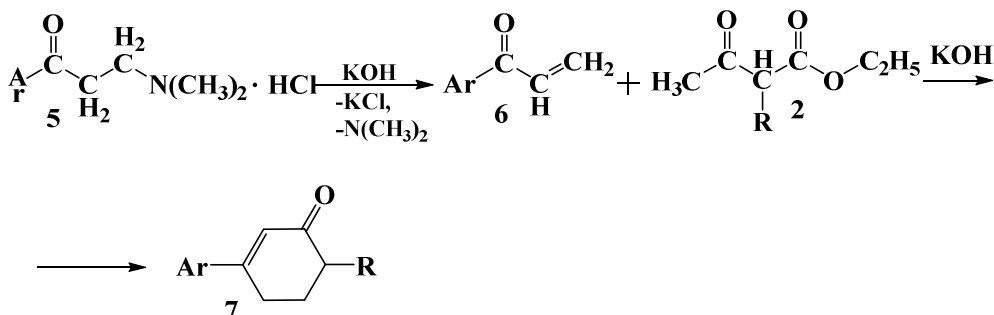
натрия в этиловом спирте, однако в результате образуется смесь с преобладанием продукта бисалкилирования.



Также аминотетраметилированием соответствующего метиларилкетона **4** в растворе пропанола-2 при соотношении метиларилкетон:параформ:солянокислый диметиламин = 1:1,2:1,2 был осуществлён синтез солей Манниха **5**.

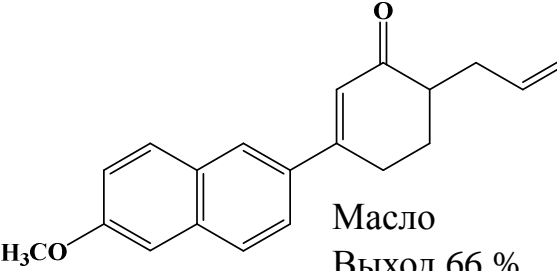
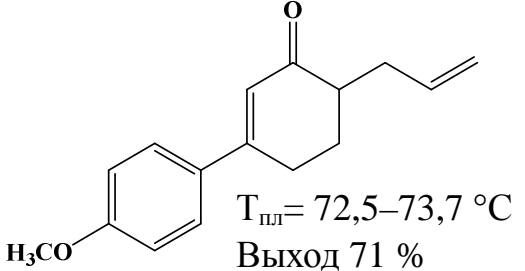
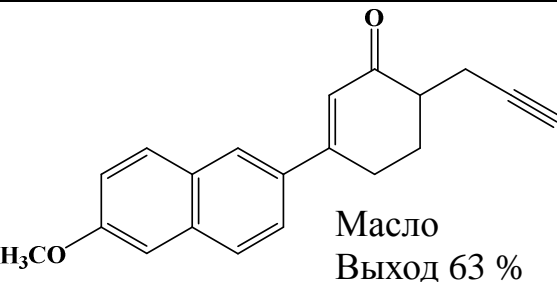
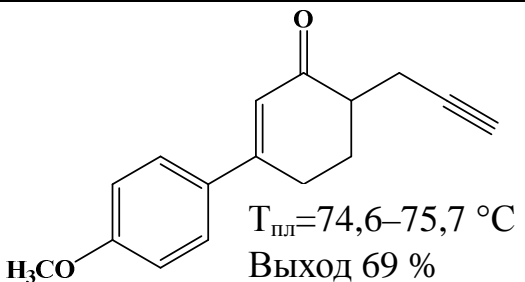
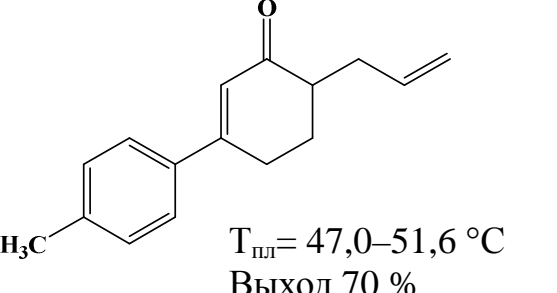
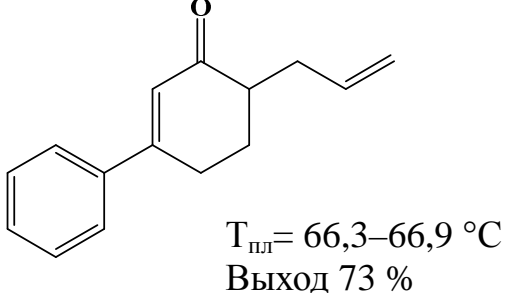


На первом этапе процесса конденсации в реакционной среде из соответствующих солей Манниха **5** под действием щёлочи генерируется виниларилкетон **6**, который затем претерпевает нуклеофильное присоединение по Михаэлю. Нуклеофил в реакции присоединения генерируется в реакционной среде из монозамещенного ацетоуксусного эфира **2** под действием едкого кали. Полученный аддукт в условиях проведения реакции легко подвергается внутримолекулярной альдольной конденсации с последующим декарбоксилированием с образованием 6-алкил-3-арилциклогексенонов **7**. Данную реакцию проводят при кипячении в диоксане в течение трёх с половиной часов.



По приведённой выше схеме был получен ряд 6-аллил(или пропаргил)-3-арилциклогексенонов. Индивидуальность полученных продуктов была подтверждена методом тонкослойной хроматографии, а структура доказана данными ЯМР- и ИК-спектроскопии. Температуры плавления и выходы полученных 6-алкил-3-арилциклогексенонов приведены в таблице.

**Таблица – Температуры плавления и выходы полученных 6-алкил-3-арилциклогексенонов**

 <p>Масло Выход 66 %</p>	 <p><math>T_{\text{пл}} = 72,5\text{--}73,7\text{ }^\circ\text{C}</math> Выход 71 %</p>
 <p>Масло Выход 63 %</p>	 <p><math>T_{\text{пл}} = 74,6\text{--}75,7\text{ }^\circ\text{C}</math> Выход 69 %</p>
 <p><math>T_{\text{пл}} = 47,0\text{--}51,6\text{ }^\circ\text{C}</math> Выход 70 %</p>	 <p><math>T_{\text{пл}} = 66,3\text{--}66,9\text{ }^\circ\text{C}</math> Выход 73 %</p>

## ЛИТЕРАТУРА

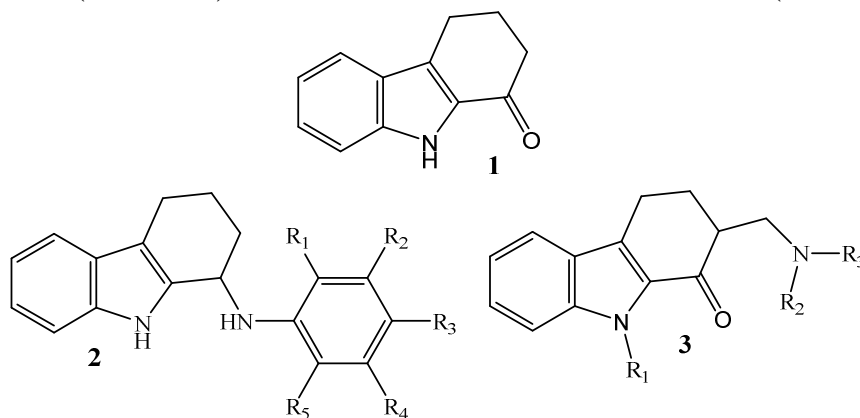
1. Enantiospecific Formal Total Synthesis of (+)-Fawcettimine / M. E. Jung, J. J. Chang // *Organic Letters*. – 2010. – Vol. 12, № 13. – P. 2962–2965.
2. Allosteric modulation of GABA<sub>A</sub> receptors by an anilino enaminone in an olfactory center of the mouse brain / T. Heinbockel, Z. Wang, P. L. Jackson-Ayotunde // *Pharmaceuticals*. – 2014. – Vol 7. – P. 1069–1090.

УДК 547.759.32

Студ. А.И. Савельев, А.В. Сивец,  
аспирант А.С. Орёл  
Науч. рук. зав. кафедрой С. Г. Михалёнок,  
проф. В.С. Безбородов  
(кафедра органической химии, БГТУ)

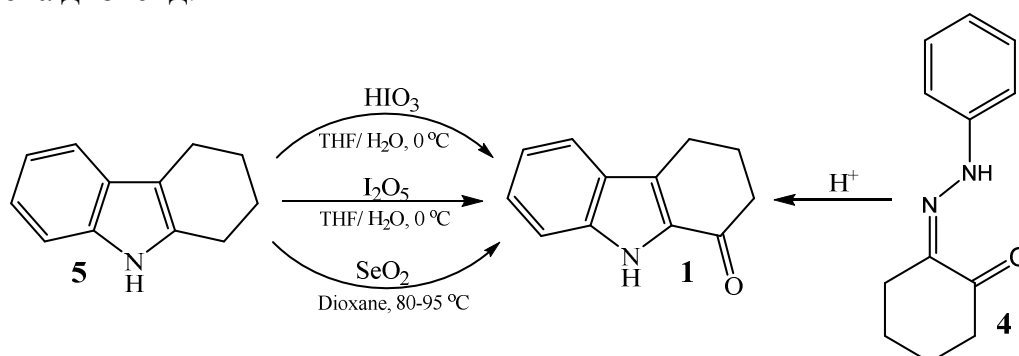
**СИНТЕЗ 2,3,4,9-ТЕТРАГИДРО-1Н-КАРБАЗОЛ-1-ОНА**

Соединения, содержащие в своей структуре фрагмент 2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-она **1**, обладают широким спектром биологической активности. Введение карбонильной группы в молекулу тетрагидрокарбазола может обеспечить новые подходы к синтезу соединений, представляющим интерес для биологического изучения. Так замещенные N-фенил-2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-амины ( $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 = \text{H-}$  или  $\text{Hal-}$ ) **2** обладают антимикобактериальными свойствами (*M. Tuberculosis* H 37 Ra) [1]. 2-замещенные 2-аминометил-9-алкил-2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-оны ( $R_1 = \text{алкил-}, \text{алкенил-}; R_2, R_3 = \text{H-}, \text{алкил-}, \text{алкенил-}, \text{арил-}$ ) **3** проявляют цитотоксическую активность в отношении четырех линий опухолевых клеток человека, включая немелкоклеточные раковые клетки (A549), клеток аденокарциномы желудка (SGC), клеток рака толстой кишки (HCT116) и миелоидного лейкоза человека (K562) [2].





На данный момент наиболее распространенным методом получения тетрагидрокарбазолов и его производных является синтез по Фишеру из соответствующих фенилгидразонов [3]. Недостатком данной методики является малая доступность и сложность в синтезе 2-(2-фенилгидразоно)-циклогексан-1-она **4**, необходимого для получения кетона **1**. Поэтому для синтеза **1** был выбран метод окисления 2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазола **5**. Данный способ позволяет осуществлять синтез из доступных реагентов, к тому же делает возможным вовлечь легко получаемый на лабораторном практикуме тетрагидрокарбазол **5** с целью его последующей трансформации. Это позволило бы расширить ассортимент синтезируемых веществ студентами химико-технологических специальностей на лабораторных работах. С этой целью был подобран ряд окислителей: иодноватая кислота, диоксида пентоксид и селена диоксид.



Окисление иодноватой кислотой проводили следующим образом: 3 г (17,5 ммоль) тетрагидрокарбазола **5**, растворенного в 90 мл тетрагидрофурана, поместили в грушевидную колбу, снабженную капельной воронкой в которой находился раствор иодноватой кислоты 7,4 г (42,1 ммоль) в 20 мл воды. Раствор  $\text{HIO}_3$  добавляли в течение 60 мин при охлаждении на ледяной бане и перемешивании. После этого реакционную колбу продолжали охлаждать при постоянном перемешивании еще 10 мин. Полученную темно-коричневую реакционную смесь обработали раствором пиросульфита натрия для удаления иода и экстрагировали дихлорметаном. Данный экстракт трижды промыли раствором  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  и однократно дистиллированной водой. Экстракт высушили над  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и упарили на роторном испарителе при температуре  $50^\circ\text{C}$ , в результате получили маслообразную темно-коричневую массу. Выделение целевого продукта осуществляли при помощи колоночной хроматографии на силикагеле. Элюировали смесью петролейного эфира и этилацетата 8:1. В результате получили 0,5144 г светло-желтых кристаллов **1** с выходом 16% от теоритического.

Методика окисления 2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазола **5** диiodа пентоксидом. Тетрагидрокарбазол **5** (1,555 г, 9,08 ммоль) поместили в грушевидную колбу, туда же прилили 94 мл ТГФ и 24 мл воды. Смесь охладили на ледяной бане и при перемешивании на магнитной мешалке в течение 25 мин присыпали 3,65 г  $I_2O_5$  (10,9 ммоль). Реакционную смесь при постоянном охлаждении перемешивали с помощью магнитной мешалки в течение 1 ч, а после еще час при комнатной температуре. Полноту прохождения реакции контролировали при помощи тонкослойной хроматографии (ТСХ). Выделение целевого продукта проводили как и в вышеописанной методике. После хроматографического разделения выход кетона **1** составил 0,4539 г (27% от теоретического).

Методика окисления 2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазола **5** диоксидом селена. В плоскодонную колбу, снабженную обратным холодильником, поместили 3 г (17,5 ммоль) соединения **5**, 50 мл перегнанного диоксана и 3,05 г (27,2 ммоль)  $SeO_2$ . Реакционную колбу нагрели до 80–95°C в течении 30 мин при перемешивании на магнитной мешалке. По окончании реакции реакционную смесь профильтровали через вату, осадок выделившегося селена промыли хлороформом. Органический слой пятикратно промыли дистиллированной водой, после чего высушили над  $Na_2SO_4$  и упарили на роторном испарителе. Далее полученную смесь подвергли разделению с помощью колоночной хроматографии на силикагеле. Элюировали смесью петролейного эфира и этилацетата 7:1. В результате было выделено 0,9429 г (29% от теоретического) кетона **1**.

Температура плавления полученного 2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-она **1** перекристаллизованного из смеси петролейного эфира и этилацетата в соотношении 5:1 составила 164,2–166,6 °C. Индивидуальность полученного продукта была подтверждена методом ТСХ, а структура доказана данными ПМР- и ИК-спектроскопии.

Окисление 2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазола **5**  $I_2O_5$  сопровождалось образованием большего количества побочных продуктов реакции. К тому же иодсодержащие окислители, используемые в работе, необходимо получать из металлического иода. Из приведенных методик наибольший выход 2,3,4,9-тетрагидро-1Н-карбазол-1-она **1** наблюдался при использовании в качестве окислителя диоксида селена при этом данный реагент является относительно доступным в лабораторной практике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Antimycobakteriell wirksame Carbazolderivate / S. Mahboobi, S. Kuhr, W. Meindl // Archiv der Pharmazie. – 1994 – vol. 327, № 10. – P. 611–617.
2. Synthesis and In-vitro Antitumor Activities of Some Mannich Bases of 9-Alkyl-1,2,3,4-tetrahydrocarbazole-1-ones / J. Chen [et al.] // Archiv der Pharmazie. – 2009 – vol. 342, № 3. – P. 165–172.
3. A novel necroptosis inhibitor–necrostatin-21 and its SAR study / Z. Wu [et al.] // Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters. – 2013 – vol. 23, № 17. – P 4903–4906.

УДК 547.564.4

Студ. М.В. Станько, А.А. Ванеев, Е.С. Карманова  
Науч. рук. зав. кафедрой С.Г. Михалёнок,  
доц. Н. М. Кузьменок, проф. В.С. Безбородов  
(кафедра органической химии, БГТУ)

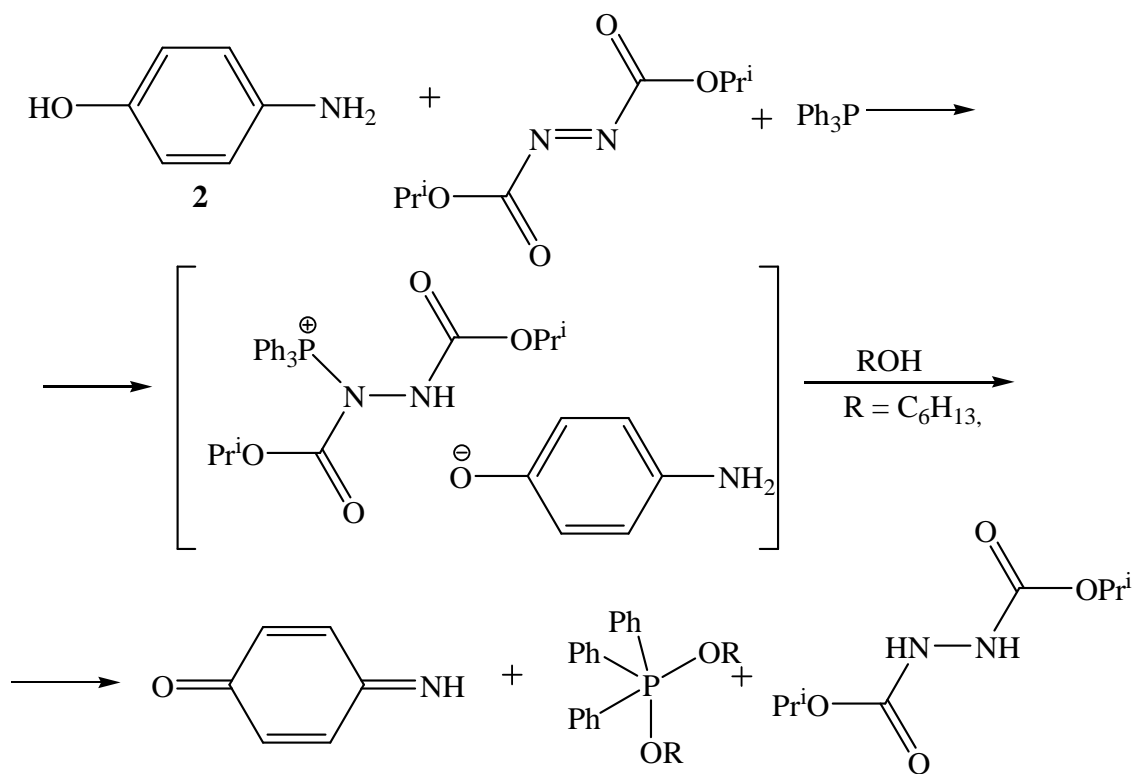
### СИНТЕЗ 4-ГЕКСИЛОКСИАНИЛИНА И ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Развитие химии жидкокристаллических веществ позволило определить структурные предпочтения и конформационные ограничения при направленном дизайне органических молекул, способных к самоорганизации в упорядоченные системы [1]. В литературе имеются сведения, что бис-основания Шиффа, полученные на основе конденсации терефталевого альдегида с разнообразными 4-замещенными анилинами позволяют получать соединения с формой молекул, которая способствует образованию упорядоченных двухмерных (смектических) анизотропных фаз при нагревании кристаллов. Эти сведения послужили основанием для выбора целевых химических структур, содержащих ароматические ядра, последовательно связанные через азометиновые фрагменты, стратегия и реализация синтеза которых предполагали осуществление синтеза 4-гексилоксианилина и его последующую конденсацию с терефталевым альдегидом. Цель данной работы заключалась в синтезе 4-гексилоксианилина **1** на основе доступного сырья.

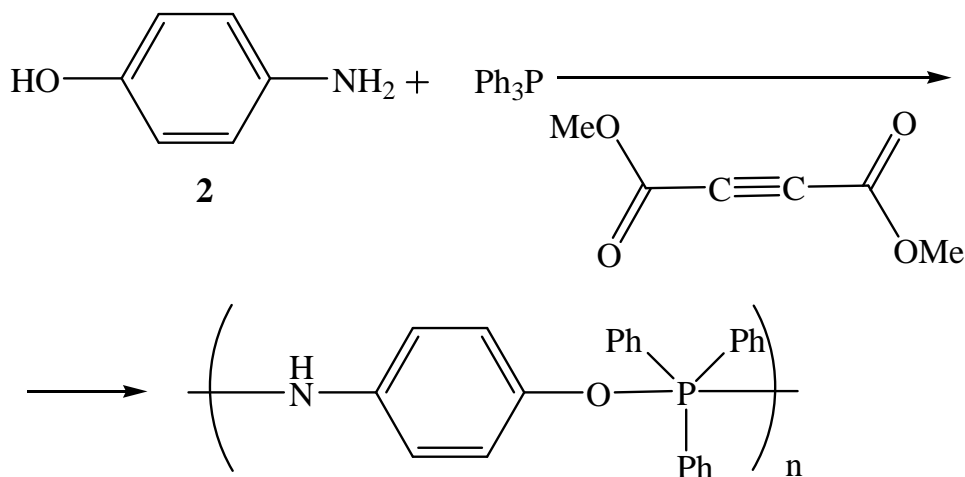
В качестве исходного продукта для синтеза целевого амина первоначально был выбран 4-аминофенол **2**, алкилирование которого по гидроксильной группе гексан-1-олом предполагалось осуществить с использованием реакции Мицунобу. Однако вследствие неустойчивости 4-аминофенола **2** при хранении в виде основания

непосредственно перед введением его в реакцию потребовалась дополнительная очистка. Было показано, что наилучшим способом такой очистки от смообразных примесей является возгонка. Выделенный в виде светло-розовых кристаллов 4-аминофенол, физико-химические характеристики которого соответствовали литературным данным, был введен в реакцию Мицунобу с гексан-1-олом в абсолютном тетрагидрофуране при 0-5°. Оказалось, что при действии трифенилфосфина и диизопропилазодикарбоксилата в апротонном растворителе в отсутствие инертной атмосферы аминофенол **2** быстро подвергается окислению и осмоляется.

Анализ литературных данных подтвердил наши результаты. Показано, что пара-аминофенол **2** в отличие от орто- и мета-изомеров претерпевает трансформацию под действием трифенилфосфина в апротонном растворителе (толуол).



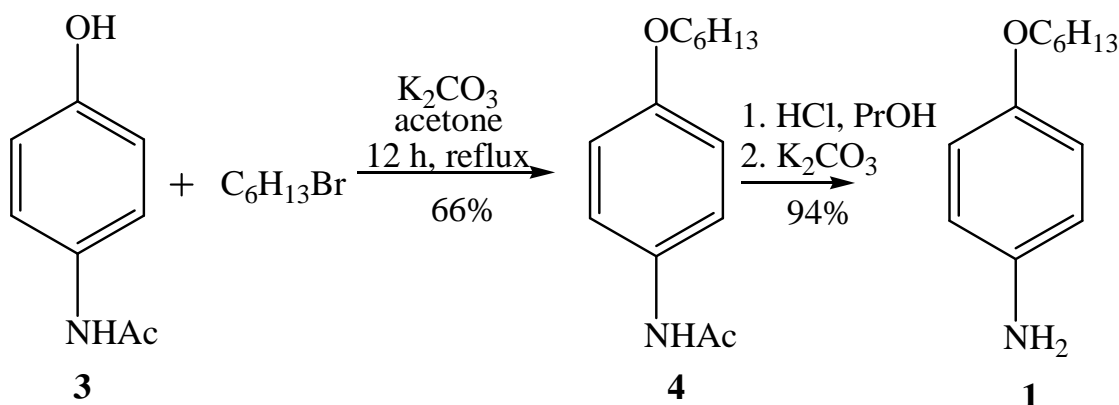
Известно, что если вместо диизопропилазодикарбоксилата, способного выступать в качестве окислителя используют диметилловый эфир ацетилендикарбоновой кислоты. В этом случае также пара-аминофенол **2** образует с трифенилфосфином аддукт полимерного характера.



В связи с этим синтез 4-гексилоксиаминофенола **1** было решено выполнить алкилированием фенола по реакции Вильямсона, однако с учетом наличия в молекуле аминофенола **2** двух нуклеофильных центров для исключения конкурентной реакции по аминогруппе было решено в качестве исходного нуклеофила использовать 4-ацетиламинофенол **3**. После проведения O-алкилирования фенола **3** ацильную защиту аминогруппы предполагалось удалить гидролизом по известной методике.

Необходимый для синтеза 4-ацетиламинофенол **3** был выделен нами из таблеток парацетамола (500 мг) с просроченным сроком годности. Экстракцию лекарственной субстанции от вспомогательных веществ осуществляли горячей водой с последующим горячим фильтрованием и кристаллизацией 4-ацетиламинофенола **3** на холоду. После высушивания соединения **3** его индивидуальность и идентичность была подтверждена температурой плавления, хроматографическим анализом, ИК- и ПМР спектрами.

Алкилирование фенола **3** по Вильямсону осуществляли его кипячением с гексилбромидом в ацетоне в присутствии карбоната калия в течение 20 ч. После удаления ацетона и промывания реакционной смеси 5%-ным раствором щелочи для отделения не вступившего в реакцию ацетамида **3**, эфир **4** был экстрагирован дихлорметаном и выделен кристаллизацией из диэтилового эфира.



Последующий гидролиз ацетамида **4** позволил выделить целевой амин **1** с количественным выходом.

Таким образом, в результате проведенного исследования отработана препаративная методика получения 4-гексилокси-аминофенола двухстадийным синтезом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безбородов В.С. Химия жидкокристаллических материалов: Учеб. пособие. Мн.: БГТУ, 2017 – 277 с.
2. A new strategy for synthesis of polymeric supports with triazene linkers/ R. Lazny [et al.] // Tetrahedron. – 2004. – Vol. 60, № 1. – P. 121–130.

УДК 504.064.2(574.2+ 621.1)

Студ. М.В. Белецкая  
 Науч. рук. доц. Е.А. Флюрик  
 (кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)  
 Науч. рук. доц. А.К. Гармаза  
 (кафедра безопасности жизнедеятельности, БГТУ)

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА РЯДОМ С МОЗЫРСКОЙ ТЭЦ

**Введение.** Энергетика – одна из основных отраслей национальной экономики Республики Беларусь. Основная задача данной отрасли – производство электрической и тепловой энергии. Одним из ключевых звеньев энергетики республики на данный момент являются теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Однако современная энергетика наносит ощутимый вред окружающей среде, ухудшая условия жизни людей. Проблема влияния энергетики на природу

становится особенно острой, так как загрязнение окружающей среды (атмосферы и гидросферы) с каждым годом усиливается.

**Цель работы** – определение загрязнения приповерхностных слоев почвы рядом с Мозырской ТЭЦ.

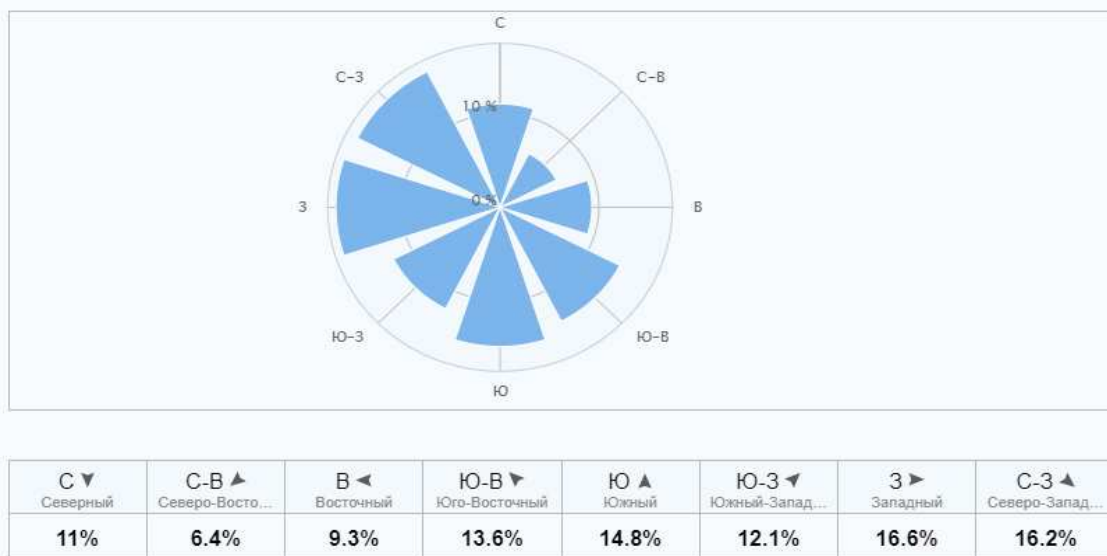
**Объект исследования** – образцы почвы, отобранные рядом с Мозырской ТЭЦ (Гомельская область).

**Основная часть.** Всего было отобрано 8 проб методом конверта, точки отбора были выбраны по основным и промежуточным направлениям света. Вес каждой пробы составил около 1 кг. Забор грунта проводили на глубине 10-15 см [1].

С помощью метода биоиндикации, используя в качестве растения-индикатора кресс-салат (*Lepidium sativum*), проводили определение косвенного влияния загрязнений ТЭЦ на окружающую среду. Биоиндикационные методы позволяют без специального дорогостоящего оборудования, приборов и реактивов изучить состояние природных сред и объектов.

Для проведения эксперимента каждую отобранную пробу разделяли на три пластиковых стаканчика. В каждый стаканчик помещали по 10 семян кресс-салата, на глубину около 1 см. Полив проводили по мере необходимости водопроводной водой. Эксперимент проводили в трехкратной повторности. Кроме того, для определения всхожести семян и определения контрольных точек (образцы растений, выращенные на чистой земле), засевали три контрольных стаканчика (использовали универсальный грунт «Terra Vita» ЗАО «МНПП «ФАРТ» г. Санкт-Петербург, Российская Федерация). Через 5 суток все растения аккуратно извлекали из стаканчиков, очищали корневую систему и определяли следующие показатели: всхожесть семян, длину главного корня, длину стебля, длину листьев.

Кроме того, определяли удельную активность радионуклидов в образцах почвы. Особенностью радиоактивных загрязнителей является то, что они обычно не изменяют уровень плодородия почв, но накапливаются в растениях. В соответствии с преобладающими направлениями ветра (рисунок) для проведения эксперимента некоторые пробы объединяли (см. табл. 2).



**Рисунок – Роза ветров г. Мозырь**

Далее производили измерение удельной активности К-40 и Cs-137. Для измерения активности использовали гамма-радиометр РУГ-91-2 «АДАНИ», который предназначен для измерения объемной (ОА) и удельной активности (УА) гамма-излучающих радионуклидов цезия-134, цезия-137, радия-226, тория-232 и калия-40 в продуктах питания, кормах, строительных материалах и других пробах различной консистенции (измельченных твердых, жидких, сыпучих и пастообразных). Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений ОА (УА) радионуклидов не превышают  $\pm 20\%$ . Измерение каждой пробы проводилось в течение 600 секунд [2].

**Результаты и их обсуждение.** Результаты по определению косвенного влияния загрязнений ТЭЦ на окружающую среду представлены в таблице 1.

Проанализировав полученные результаты можно отметить следующие: всхожесть выше и длина главного корня, стебля и листьев больше у растений, выращенных на пробах почвы с подветренных сторон.

**Таблица 1 – Результаты биоиндикации**

Номер пробы	Всхожесть, шт.	Длина главного корня, мм	Длина стебля, мм	Длина листьев, мм
Контроль	8 $\pm$ 1	35 $\pm$ 7	44 $\pm$ 1	12 $\pm$ 0
1	10 $\pm$ 0	78 $\pm$ 4	29 $\pm$ 2	8 $\pm$ 0
2	10 $\pm$ 0	75 $\pm$ 3	28 $\pm$ 4	8 $\pm$ 0
3	9 $\pm$ 1	58 $\pm$ 2	24 $\pm$ 0	8 $\pm$ 1
4	8 $\pm$ 1	58 $\pm$ 4	34 $\pm$ 4	9 $\pm$ 1



## Продолжение таблицы 1

5	6±1	53±3	31±5	10±2
6	5±1	49±5	33±5	8±2
7	3±1	31±2	17±3	6±1
8	7±0	62±1	28±1	10±1

Результаты определения удельной активности радионуклидов К-40 и Cs-137 представлены в таблице 2. Как видно, наибольшее количество К-40 обнаружены в пробе №6, Cs-137 – в пробах №1 и №2 (восточная сторона ТЭЦ).

**Таблица 2 – Результаты определения удельной активности К-40 и Cs-137**

Номер пробы	Масса пробы, кг	Удельная активность К-40, Бк/кг	Удельная активность Cs-137, Бк/кг
1	0,350	555,6	52,93
2+3	0,650	455,7	406,1
4+5	0,650	469,5	117,5
6	0,320	652,7	65,6
7+8	0,600	451,1	141,4

**Заключение.** Из представленных результатов следует, что метод биоиндикации позволяет изучить влияние техногенных загрязнителей на растительные и животные организмы, фенотипические признаки растений существенным образом зависят от степени загрязнений почвы. Дальнейшая работа будет направлена на определение загрязняющих веществ и степени их влияния на растительные организмы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: ГОСТ 17.4.4.02-84. – Введ. 01.01.1986. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2014. – 12 с.

2. Чернушевич, Г. А. Радиационная безопасность. Лабораторный практикум: учеб. пособие для студентов по профилю образования «Техника и технологии» / Г. А. Чернушевич, В. В. Перетрухин. – Минск : БГТУ, 2018. – 198 с.

УДК 613.281:614.876

Студ. П.В. Цуприков, А.А. Казерская  
Науч. рук. преп. Н.О. Азовская,  
(кафедра безопасности жизнедеятельности, БГТУ)  
ст. преп. Е.В. Дубоделова  
(кафедра физико-химических методов сертификации продукции)

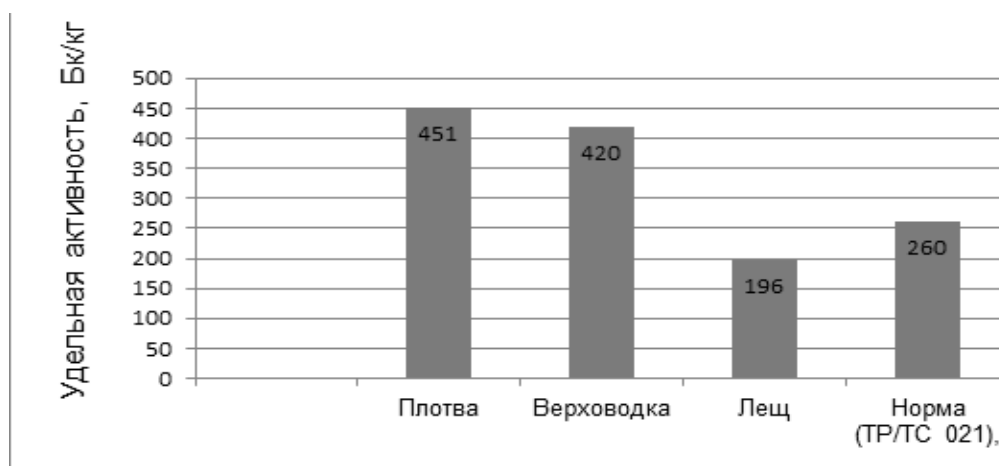
## **МОЖНО ЛИ ЕСТЬ РЫБУ ИЗ РЕКИ БЕРЕЗИНА?!**

Согласно закону РБ «О радиационной безопасности населения» от 5 января 1998 г. № 122-З (в ред. Законов Республики Беларусь от 04.01.2014 № 106-З) населению необходимо создание условий, обеспечивающих охрану жизни и здоровья от вредного воздействия ионизирующего излучения. В то же время, рыбалка является распространённым видом досуга и отдыха, обеспечение безопасности которой может быть достигнуто только лишь профилактическими мерами, заключающимися в информировании населения РБ. Известно, что употребление рыбы, как в свежем, так и сушеном виде связано с радиационным риском особенно, если она была выловлена в регионах с повышенным радиационным фоном [1]. Однако рыба, выловленная самостоятельно, в редких случаях подвергается радиационному контролю. Река Березина является самой длинной для Республики Беларусь и протекает на территории 4 областей – Витебской, Минской, Могилевской и Гомельской [2]. Данные области в разной степени были подвержены радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы на ЧАЭС, поэтому исследование накопления радионуклидов в рыбе из реки Березина является актуальным. Для обеспечения радиационной безопасности пищевых продуктов в странах Евразийского экономического союза действует ТР ТС 021/2011 [3], устанавливающий допустимые содержания радионуклидов.

Целью данной работы является исследование показателей радиационной безопасности образцов сушёной рыбы, которые были выловлены в мае, ноябре и декабре 2016 года на реке Березина в Березинском и Светлогорском районах. Указанные территории считаются малозагрязнёнными и разрешены для рыболовства. При проведении исследований водная толща реки в месте вылова рыбы была условно разделена на 3 слоя: верхний, средний и нижний. В качестве распространённых представителей, обитающих в разных слоях водной толщи, для анализа были выбраны: верховодка размером от 5 до 7 см – верхний слой, плотва от 10 до 12 см – средний слой и лещ от 17 до 25 см – нижний слой. Дополнительно выбор верховодки и плотвы был обусловлен и тем, что несмотря на рекомендации к их вылову по степени загрязнённости

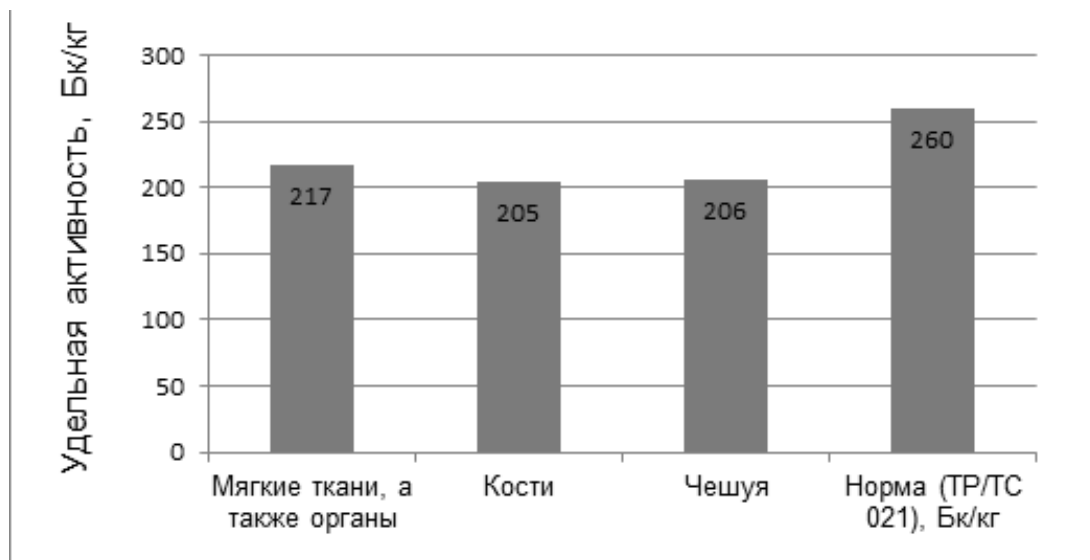
радионуклидами, они за счет разнообразного рациона питания могут задерживать радионуклиды. В тоже время лещ, обитающий в нижнем слое, может подтвердить рекомендации к вылову, так как рацион его питания однообразен. Измерения удельной активности цезия-137 проводили в соответствии с ГОСТ 32161 с использованием дозиметра-радиометра МКС-АТ1125 и спектрометра МКС-АТ1315 (производства РБ, Atomtex).

Результаты радиометрического анализа сушёной рыбы представлены на рисунке 1. Приведены средние удельные активности по результатам трёх измерений с вычетом радиационного фона. Следует отметить, что верховодка и лещ были выловлены в Светлогорском районе в мае, а плотва – в Березинском в ноябре и декабре. Для верховодки данные получены с использованием спектрометра, так как масса пробы была недостаточна для анализа с использованием дозиметра-радиометра.



**Рисунок 1 – Результаты радиометрического анализа рыбы**

Из рисунка 1 видно, что содержание радионуклидов в леще не превышает допустимого уровня согласно ТРТС 021/2011 (260 Бк/кг). В то же время образцы плотвы и верховодки превышали норму до 73 %. Следует отметить, что удельная активность пробы повторного вылова плотвы, сделанного в декабре, составила 407,6 Бк/кг, что превышает норму на 57 %, что мало отличается от результатов анализа вылова ноября месяца. Наиболее вероятно это связано с районом обитания и питанием рыбы. Далее было проанализировано накопление радионуклидов смешанного характера в теле сравнительно крупной рыбы, выловленной в Светлогорском районе. Результаты исследований представлены в рисунке 2.



**Рисунок 2 – Результаты радиометрического анализа различных тканей сушеного леща**

Из рисунка 2 видно, что различные ткани не отличаются по содержанию радионуклидов смешанного характера, что свидетельствует о стабильности радиационного фона в реке Березине в данном районе.

Таким образом, результаты исследований показателей радиационной безопасности сушёной рыбы, самостоятельно выловленной на реке Березина, позволяет рекомендовать рыбалку при обязательном условии проведения радиационного контроля. Данная рекомендация обусловлена тем, что удельная активность сушёной рыбы превышала допустимый уровень загрязнённости вплоть до 73% при вылове рыбы в малозагрязнённых районах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дубоделова Е.В., Ветохин С.С. Радиохимия: пособие для студентов специальности 1-54 01 03 «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции» - Минск: БГТУ, 2014. – 202 с.
2. Березина // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
3. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Технический регламент таможенного союза, утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880 – 242 с.

УДК 579.6

Студ. А.М. Козлова, магистрант О.В. Мелешко  
Науч. рук. доц. Н.А. Белясова  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТИМИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА БАКТЕРИИ В СОСТАВЕ БИОПЛЁНОК**

На сегодняшний день известно, что большинство бактерий существуют в природе в виде биопленок – особой формы колониальной организации микроорганизмов. Такая форма существования по сравнению с планктонной обуславливает повышенную устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов различной природы. Одной из причин устойчивости микроорганизмов в составе биопленок к действию антимикробных средств являются полимерные вещества, входящие в состав матрикса, которые препятствуют проникновению агентов вглубь биопленки [1].

Формирование биопленок микроорганизмами на поверхности производственного и медицинского оборудования приводит к значительным экономическим потерям и нарушению технологических процессов. Поэтому важным направлением является разработка препаратов, обладающих антимикробной активностью по отношению к микроорганизмам в составе биопленок [2].

Целью данного исследования является разработка метода оценки эффективности воздействия новых антимикробных препаратов на живые клетки в составе биопленок.

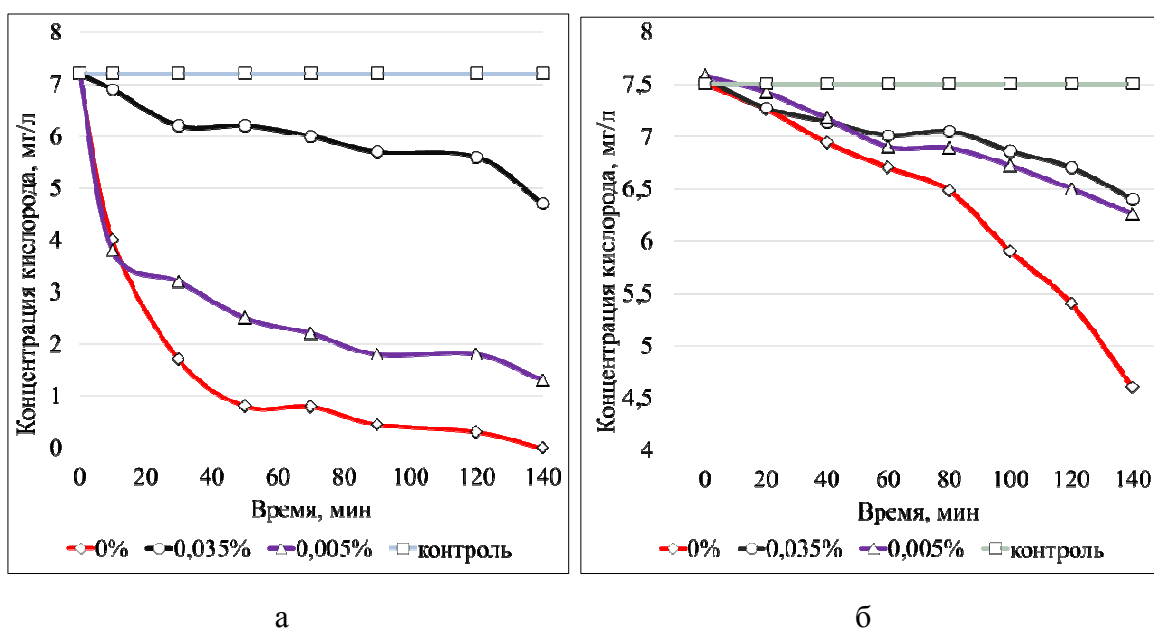
Для снижения погрешности оценки эффективности бактерицидных агентов по отношению к микроорганизмам в составе биопленки выбран подход, связанный с регистрацией дыхательной активности клеток, которая должна коррелировать с их выживаемостью. Данный подход позволяет не разрушать структуру биопленок.

Метод заключается в инкубировании иммобилизованных на носителе бактерий в присутствии биоцидного препарата и определения динамики снижения концентрации молекулярного кислорода в культуральной жидкости.

Общая схема проведения эксперимента включает стадии: (1) получение суточной культуры бактерий; (2) иммобилизация клеток на гранулах полипропилена для получения биопленок; (3) обработка клеток биоцидом; (3) регистрация дыхательной активности клеток в динамике.

На первом этапе исследования проверяли работоспособность метода на планктонной культуре коллекционных бактерий

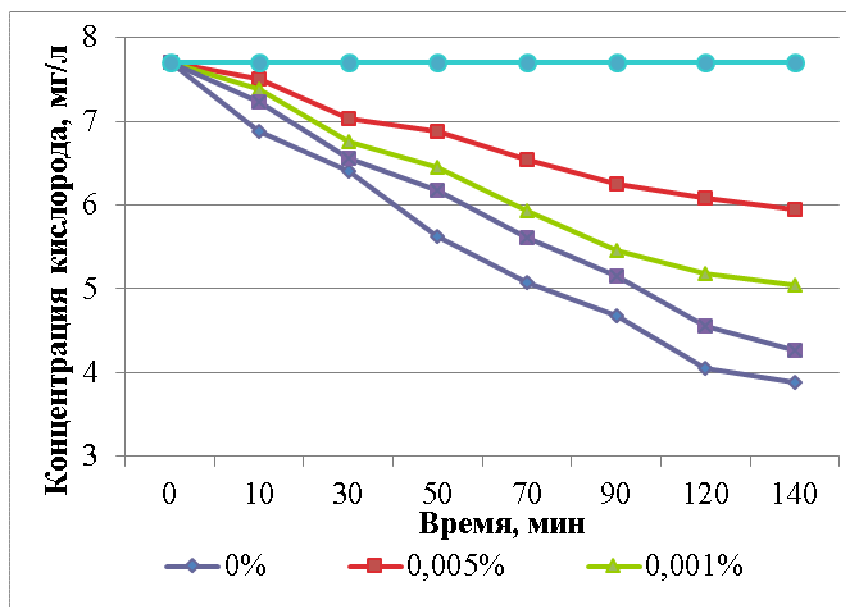
*Pseudomonas fluorescens*. Получены зависимости (рисунок 1), отражающие изменение содержания молекулярного кислорода в культуральных жидкостях планктонных и иммобилизованных на гранулах полипропилена клеток, обработанных полигексаметиленгуанидином в разной концентрации. Контролем служила питательная среда без клеток.



**Рисунок 1 – Изменение содержания молекулярного кислорода в культуральных жидкостях (а) планктонных, (б) иммобилизованных на носителе клеток *P.fluorescens***

Можно видеть, что с увеличением содержания биоцида уменьшается скорость потребления кислорода клетками, причем различия в дыхательной активности планктонных бактерий гораздо более выражены, чем у иммобилизованных клеток. Причиной тому может служить небольшое содержание клеток в матрице биопленки, поскольку коллекционные бактерии *P.fluorescens* формируют не очень развитые обрастания на носителях. Чтобы увеличить различия в скорости потребления кислорода иммобилизованными клетками в зависимости от содержания биоцида и получить возможность дифференцировать препараты по уровню антибактериальной активности, на следующем этапе воспроизвели эксперимент с использованием бактерий штамма S1 - активных пленкообразователей, выделенных из активного ила и охарактеризованных в параллельном исследовании.

На рисунке 2 представлены результаты оценки уровня потребления кислорода клетками штамма S1 в составе биопленок при воздействии полигексаметиленгуанидина в разной концентрации.



**Рисунок 2 – Потребление кислорода бактериями штамма S1, иммобилизованными на гранулах полипропилена, при разной концентрации биоцида**

Можно видеть, что соблюдаются отмеченные выше закономерности уменьшения дыхательной активности клеток при увеличении концентрации биоцидного препарата. Подобранные условия эксперимента и использование в качестве активных пленкообразователей бактерий штамма S1 обеспечивает выявление различий в степени воздействия биоцидов на клетки в составе биопленок.

Таким образом, разработанный метод пригоден для оценки эффективности антимикробных препаратов. На следующем этапе исследования будет произведена калибровка значений остаточного содержания молекулярного кислорода в культуральных жидкостях бактерий для определения соответствия данных показателей числу сохранивших жизнеспособность после воздействия биоцида клеток.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Flemming, H.C., Wingender, J. The biofilm matrix / H.C. Flemming // *Nature Reviews Microbiology*. – 2010. – №8. – P. 623–633.
2. Афиногенова, А.Г. Микробные биопленки ран: состояние вопроса / А.Г. Афиногенова, Е.Н. Даровская // *Травматология и ортопедия России*. – 2011. – №3. – С. 119–125.

УДК 579.6

Магистрант О.В. Мелешко, студ. Д.В. Казяк  
Науч. рук. доц. Н.А. Белясова  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

## **ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БИОПЛЕНОК**

В естественных условиях большинство микроорганизмов существуют не как некоторое количество самостоятельных и изолированных клеток, а находятся в составе биопленок.

Бактерии в составе биопленок формируют межклеточные контакты, которые позволяют передавать между клетками некоторые молекулы без их освобождения во внешнюю среду. Такие контакты в числе других факторов способствуют формированию единой кооперативной клеточной системы.

Биопленка служит идеальной нишей для обмена генетической информацией между бактериями. Передача генов в биопленках наблюдается в 10-500 раз чаще, чем в планктонно-растущих клетках.

Структура и физиологические свойства биопленки обеспечивают повышение устойчивости патогенных микроорганизмов к антибиотикам, антисептикам и воздействиям со стороны иммунной системы хозяина [1].

В настоящее время регистрируется возрастание интереса к исследованию пленкообразующей способности бактерий, что диктуется необходимостью разработки эффективных мер борьбы с биообрастаниями в промышленности и медицине [2].

Целью исследования являлось изучение интенсивности формирования биопленок бактериями 13 штаммов, выделенными из окружающей среды.

Источниками выделения бактерий являлись активный ил очистных сооружений, пластиковый лоток для сбора воды кофемашины, пластиковое дно корпуса фильтра для воды, почва, корень свеклы. Два штамма бактерий были взяты из коллекции кафедры БТ и БЭ. Пересевы до изолированных колоний осуществлялись на плотной питательной среде ПКА 2,0%, предназначенной для выделения пленкообразующих бактерий. Её основой служит казеин.

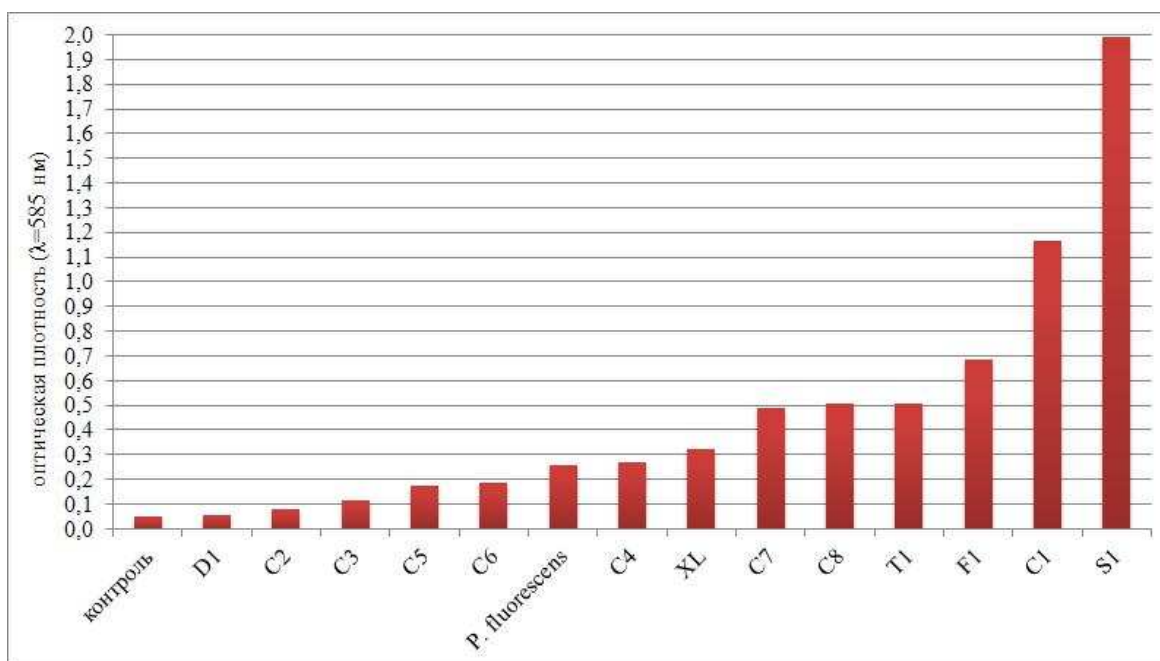
Биопленки получали на образцах гранул полипропилена. Их помещали в пробирки с инокулированной исследуемыми бактериями питательной средой и в питательную среду без клеток (контроль). Культивировали в статическом режиме 3 суток.



После культивирования биопленки, сформированные на поверхности гранул, окрашивали генциановым фиолетовым, который образует устойчивые комплексы с клеточными белками. Гранулы тщательно промывали от несвязанного красителя, а связанный с белком краситель экстрагировали уксусной кислотой. Оценивали экстинкцию растворов, которая пропорциональна числу клеток в составе биопленки.

Микроскопирование проводили с использованием светового микроскопа «Билам-2» при увеличении  $\times 1000$ . Обработка полученных результатов выполнена с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты. Все исследованные микроорганизмы обладали способностью прикрепляться к гранулам полипропилена. При этом число клеток в составе биопленок разных штаммов варьировало в широком диапазоне, о чем свидетельствуют различия в показателях оптической плотности растворов генцианового фиолетового, экстрагированного из клеточного матрикса биообрастаний.



**Рисунок – Результаты определения экстинкции красителя генцианового фиолетового, экстрагированного из биопленок**

Из приведенных на рисунке данных видно, что 7 изолятов (D1, C2, C3, C5, C6, C4, X4), а также коллекционные бактерии *P. fluorescens* характеризуются низкой пленкообразующей способностью, четыре изолята (C1, C8, T1, F1) средней, а штаммы C1 и S1 – очень высокой.

Морфологическая характеристика лучших пленкообразователей позволила установить, что бактерии штамма S1 представлены грамположительными палочками, одиночными и в парах, неспорообразующими, способными к движению. Клетки штамма S1 имеют сферическую форму, грамположительные, формирующие скопления в виде коротких цепочек, неподвижные, неспорообразующие.

Отобранные штаммы активных пленкообразователей будут использованы в исследовании антибактериальных свойств биоцидных препаратов, чье действие направлено на биопленки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://cyberleninka.ru/article/v/mikrobnye-bioplennii-problemy-antibiotikoterapii>

2. [http://kpfu.ru/portal/docs/F1250326711/posobie.\\_Bioplennki.\\_Mardanova.AM.Kabanov.D.A..Sharipova.M.R.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F1250326711/posobie._Bioplennki._Mardanova.AM.Kabanov.D.A..Sharipova.M.R.pdf) - с. 5

УДК 547.281

Студ. В.В. Амброжевич

Науч. рук. зав. кафедрой В.Н. Леонтьев  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

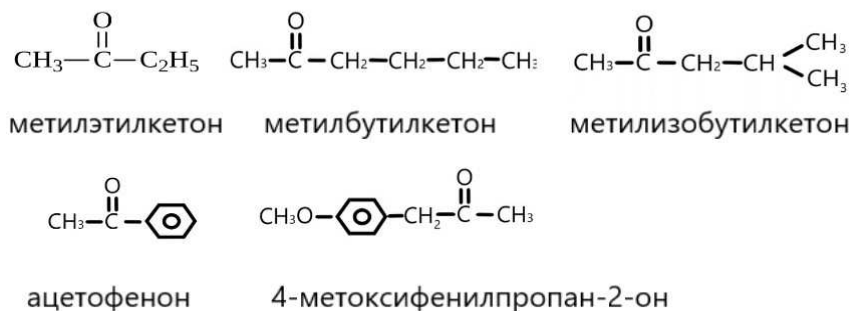
### **ФЕРМЕНТАТИВНАЯ КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КЕТОНОВ**

Цель работы: изучение кинетики восстановления кетонов для получения оптически активных спиртов – исходных соединений для создания новых жидкокристаллических систем.

Так как химическим синтезом получают только рацемические смеси, пришлось обратиться к ферментативному катализу. Подвергая действию ферментов несимметричные кетоны можно получить оптически активные спирты. Структурные формулы используемых кетонов приведены на рисунке 1.

Для работы использовали 4 штамма дрожжей: *Saccharomyces cerevisiae* пекарские, *S. cerevisiae* 221, *S. cerevisiae* 54, *Rhodotorula glutinis* 167.

Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* – непатогенные одноклеточные микроорганизмы с диаметром клетки примерно 5 мкм. Их генетика, молекулярная биология и метаболизм детально изучены. *S. cerevisiae* размножаются почкованием и хорошо растут на простых питательных средах. Они являются наиболее удобной моделью для исследования других эукариот.



**Рисунок 1 – Структурные формулы используемых кетонов**

Дрожжи *Rhodotorula glutinis* используются в заводских условиях по производству каротиноидов и в качестве агентов биоконтроля для послеуборочной порчи болезни плодов.

Восстановление кетонов происходит только в присутствии фермента алкогольдегидрогеназы. Для получения ферментного препарата дрожжи, выращенные на плотной питательной среде, бактериологической петлей переносим в эппендорфную пробирку, заполненную 1,5 мл буферного раствора, в которую помещены металлические шарики диаметром 0,3-0,5 мм и проводят встряхивание на специальном аппарате Вортекс в течение 3 минут. Полученную суспензию центрифугируем 5 минут при 6000 мин<sup>-1</sup>. В полученном ферментном препарате определяем концентрацию белка методом Варбурга-Христиана и используем его для восстановления кетонов.

В ходе эксперимента в спектрофотометрическую кювету помещаем реакционную смесь: -2,5 мл фосфатного буфера (pH 8,5); -0,1 мл кетона; -0,1 мл ферментного препарата.

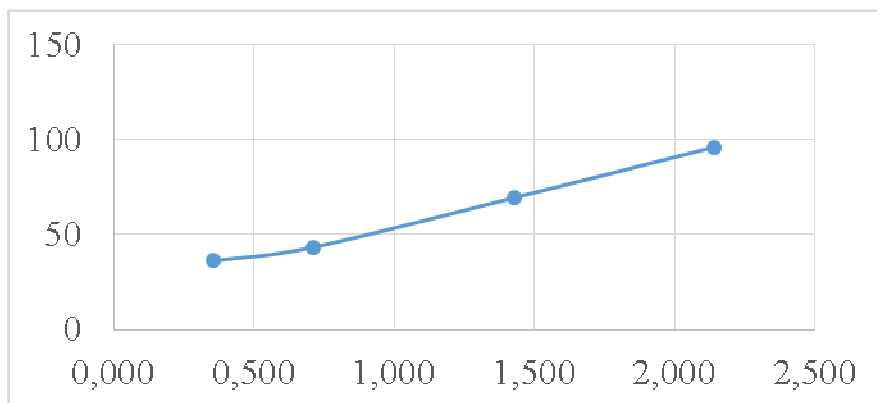
Реакцию запускаем 0,1 мл раствора NADH (C = 1 · 10<sup>-2</sup> моль/л). Общий объем пробы составляет 2,8 мл. В содержимом кюветы при постоянном перемешивании и температуре 20 °С измеряем увеличение экстинкции раствора при 340 нм в течение 2 – 10 минут на спектрофотометре Specord 200 plus с помощью специальной кинетической программы. С помощью программного обеспечения прибора проводим расчет величины начальной скорости реакции – тангенса угла наклона касательной к кинетической кривой в нулевой точке (изменение экстинкции в минуту E/S).

Величину удельной активности АДГ вычисляем по формуле:

$$A = \frac{S}{E \cdot c \cdot \varepsilon \cdot l \cdot 10^{-3}}$$

где  $A$  – удельная активность АДГ, нмоль/(мин·мг белка);  $E/S$  – изменение экстинкции в единицу времени, мин<sup>-1</sup>;  $C$  – концентрация белка, мг/мл;  $\epsilon$  – коэффициент молярной экстинкции НАДН;  $l$  – толщина кюветы, см.

В качестве примера на рисунке 2 представлена зависимость активности фермента (нмоль/мг·мин) *Saccharomyces cerevisiae* пекарские при восстановлении метилбутилкетона от концентрации кетона (ммоль).



**Рисунок 2 – Зависимость активности фермента от концентрации субстрата**

В заключении можно сделать вывод о том, что восстановление кетонов происходит для всех изученных субстратов ферментными системами всех изученных дрожжей.

В дальнейшем планируется определить энантиомерный избыток образовавшихся спиртов и разработать технологический регламент получения оптически активных спиртов с целью их использования в качестве исходных компонентов новых жидкокристаллических систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шакиров, А.Н. Энантиоселективное восстановление карбонильных соединений с помощью дрожжей *Pichia fermentans* 87-9 / А.Н. Шакиров, Н.И. Петухова, В.В. Зорин // Башкирский химический журнал. – 2013. – Т. 20, № 4. – С. 59–68.
2. Василенко, И.А. Оптические изомеры в фармацевтике / И.А. Василенко, М.В. Лебедев, В.А. Листров // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2015. – № 1. – С. 92–97.
3. Микробиологическая трансформация алифатических кетонов / А.Н. Шакиров [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2012. – Т. 19, № 2. – С. 71–77.
4. Халгаш, Я. Биокатализаторы в органическом синтезе / Я. Халгаш. – М.: Мир, 1991. – 204 с.

УДК 615.03:616-006

Студ. Т.П. Ахламёнок

Науч. рук. зав. кафедрой В.Н. Леонтьев  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛКИЛИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ В ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ ТЕРАПИИ**

### **1. Введение и краткая характеристика**

На протяжении 25-и лет в Беларуси наблюдается рост заболеваемости раком. Активно ведутся разработки различных противоопухолевых препаратов, одни из них алкилирующие препараты, успешно доказавшие свою эффективность.

Алкилирующие антинеопластические препараты — это химиотерапевтические противоопухолевые лекарственные препараты, чей механизм действия основан на **присоединении алкильной группы к ДНК** и, как следствие, нарушении структуры ДНК и невозможности для злокачественной клетки поделиться, осуществить митоз. Это запускает в повреждённой клетке механизм апоптоза.

Однако, все противоопухолевые лекарственные средства не являются строго специфичными, они действуют не только на опухолевые клетки, но и на нормальные, в первую очередь, на ткани с быстрой пролиферацией. Следовательно они обладают мутагенным и тератогенным действием [1].

Поэтому низкая избирательность и высокая токсичность противоопухолевых алкилирующих препаратов остро стоит по сей день. При использовании в качестве носителя алкилирующих групп различных соединений удается изменить их свойства, что является основой поиска новых и более совершенных препаратов этой группы, тем самым решая проблему токсичности и действия препарата.

**Классификация алкилирующих противоопухолевых препаратов, предложенная ВОЗ:**

1. Алкилсульфонаты;
2. Этиленимины;
3. Производные нитрозомочевины;
4. Хлорэтиламины.

### **2. Механизм действия алкилирующих агентов**

#### **2.1 На примере производных бис-β-хлорэтиламина.**

Наиболее часто используются производные горчичного газа. Но только пять обычно используются в терапии рака на сегодняшний день (рисунок 2). Характерной химической является бисхлорэтильная группа. Все его производные реагируют через промежуточный

азиридиний. (рисунок 1). Остальная часть молекулы важна для определения физических свойств молекулы и влияет на транспорт, распределение и реактивность конкретных агентов [2].

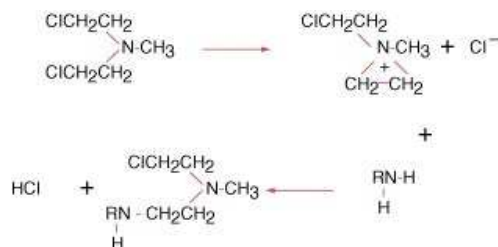


Рисунок 1 – Механизм действия

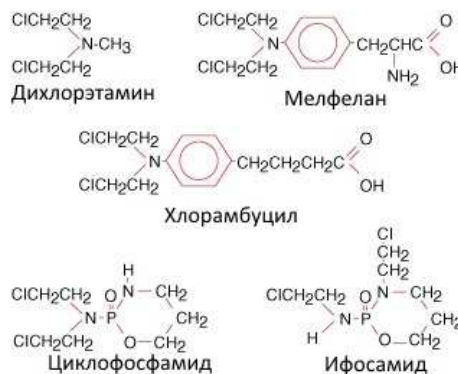


Рисунок 2 – Производные бис-β-хлорэтиламина

## 2.2 На примере тиразина, гидразина

Прокарбазин и дакарбазин (рисунок 3), метаболизируются в реакционноспособные промежуточные соединения, которые разлагаются для получения метилдiazония, который метилирует ДНК [2].



Рисунок 3 – Структуры монофункциональных алкилирующих агентов

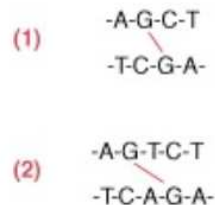


Рисунок 4 – Интерстриндровое сшивание ДНК азотистыми соединениями

2.3 Общая схема синтеза производных бис-β-хлорэтиламина (рисунок 5б) [3] и дакарбазина (рисунок 5а) [4].

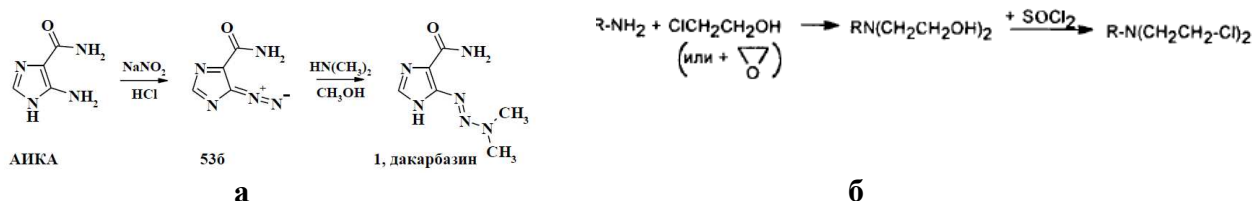


Рисунок 5 – Общие схемы синтеза:  
а – дакарбазина; б – производных бис-β-хлорэтиламина

### 3. Алкилирующие агенты, используемые в мире и в Республике Беларусь

В настоящее время в мире применяется широкий арсенал лекарственных средств: производные нитрозомочевины, алкилирующие агенты второго поколения, комбинации различных соединений: PCV (прокарбазин, ломустин, винкристин), PNV (прокарбазин, нидран, винкристин). В Республике Беларусь на сегодняшний день используются препараты проспидин и карбоплатин.

**Проспидия хлорид**, также известный как **проспидин** (рисунок 6а), относится к производным бис-β-хлорэтиламина. Малотоксичен. Усиливает противоопухолевое действие лучевой терапии.

**Карбоплатин** (рисунок 6б) — цитостатический препарат алкилирующего действия. Производное платины. Препарат является более совершенным и менее токсичным аналогом цисплатина.

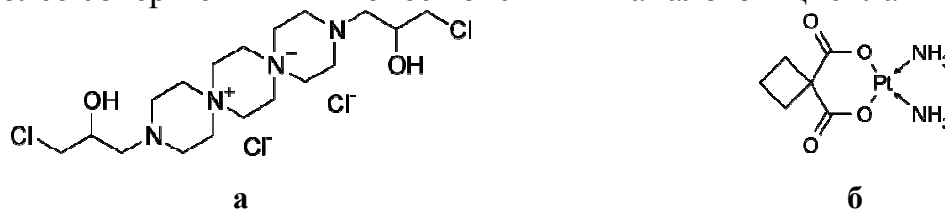


Рисунок 6 – Используемые алкилирующие агенты:  
а – проспидия хлорид; б – карбоплатин

Исследования в данном направлении предполагают следующие этапы:

1. Выбор схемы синтеза;
2. Выбор методов анализа;
3. Приобретение реактивов и растворителей;
4. Осуществление синтеза и выделение целевого продукта;
5. Проведение биологических испытаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кубанова А.А. Рациональная фармакотерапия заболеваний кожи и инфекций, передаваемых половым путем: Рук. для практикующих врачей / А.А. Кубанова, В.И.Кисина, и др.; под общ. ред. А.А. Кубановой, В.И. Кисиной. М.: Литтерра, 2005. – 882 с.
2. Colvin M. Alkylating agents/ Colvin M., Kufe D. [et al] // Holland-Frei Cancer medicine 6<sup>th</sup> edition. – 2003. – P. 6–7, 15–16.
3. Солдатенков А.Т. Основы органической химии лекарственных веществ / А.Т. Солдатенков, Н.М. Колядина, И.В. Шендрик – М.: Химия, 2001. – 192 с.
4. Мокрушин В.С. Химия гетероциклических diaзосоединений / В.С. Мокрушин, Е.В. Садчикова. – СПб.: Проспект Науки, 2013. – 224 с.

УДК 557.114:616-006

Студ. А.О. Гаруля

Науч. рук. зав. кафедрой В.Н. Леонтьев  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

На сегодняшний день рак – одно из самых распространенных заболеваний в мире. Ежегодно наблюдается тенденция увеличения заболеваемости раком, Беларусь не исключение. Эта проблема стоит очень остро и вызывает всеобщий интерес.

Цель нашей работы: провести поиск литературы по вопросу применения полисахаридов, выделенных из грибов, для лечения онкологических заболеваний, выяснить, какие из полисахаридов являются наиболее эффективными и какие из них можно производить в масштабах нашей страны. Полисахариды грибов в основном являются глюканами. Глюканы представляют собой молекулу полисахарида из мономеров D-глюкозы. Некоторые из них связаны  $\beta$ - (1-3), (1-6) гликозидными и  $\alpha$ -(1-3) гликозидными связями (рис.1). Чаще всего существует основная цепь, которая является либо  $\beta$ - (1-3),  $\beta$  -(1-4), либо смешанной  $\beta$  (1-3) и  $\beta$  (1-4) с боковыми цепями, которые могут содержать глюкуроновую кислоту, галактозу, маннозу, арабинозу или ксилозу в качестве основного компонента или в разных комбинациях [1].

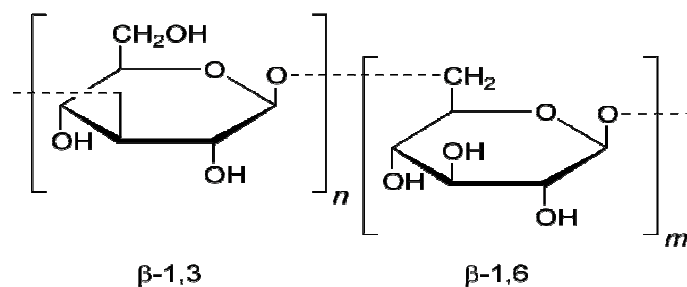


Рисунок 1 – Глюкан с  $\beta$ - (1-3), (1-6) гликозидными связями

Но не все глюканы обладают противоопухолевой активностью. Такие структурные особенности, как  $\beta$ - (1-3) связи в основной цепи глюкана и наличие дополнительных  $\beta$ - (1-6) точек ветвления необходимо для противоопухолевой активности [2]. Шесть грибных препаратов показали клинически значимую эффективность против опухолей человека: лентинан, шизофилан, активное координационное соединение гексозы, D-фракция Майтаке, Полисахарид-К и



Полисахарид-П [2,3]. Краткая характеристика данных препаратов приведена в таблице.

**Таблица – Основные характеристики грибных полисахаридов**

Полисахарид	Структура и молекулярная масса	Гриб-продуцент	Эффективен против
Лентинан	$\beta$ (1-3), $\beta$ (1-6)-глюкан, молекулярная масса порядка 400 000-1 000 000 дальтон	Шиитакэ ( <i>Lentinus edodes</i> ), аскомицетовые дрожжи ( <i>Candida albicans</i> )	Рак желудка и колоректальной области
Шизофиллан	$\beta$ 1-3, $\beta$ 1-6-D-глюкан, молекулярная масса порядка 450 000 дальтон	Щелелистник обыкновенный ( <i>Schizophyllum commune</i> )	Раком головы и шеи, рак шейки матки
Активное координационное соединение гексозы	$\alpha$ - (1-3) и $\alpha$ - (1-4)-глюкан, молекулярная масса около 5000 дальтон	Экстракт из сокультивированного мицелия нескольких видов базидиальных грибов, в том числе Шиитакэ ( <i>Lentinus edodes</i> )	Гепатоцеллюлярная карцинома, другие виды рака
D-фракция Майтаке	Смешанная фракция $\beta$ -D-глюканов, содержит $\beta$ -D-глюканы с 1-6 основными цепями и 1-4 ответвлениями, и более общие 1-3 основными цепями и 1-6 ответвлениями. Молекулярная масса невелика (около 5000 дальтон)	Грифола курчавая, Майтаке ( <i>Grifola frondosa</i> )	Рак молочной железы, рак предстательной железы, легких, печени и желудка
Полисахарид-К (ПСК)	Глюкан с $\beta$ 1-4 основной цепью, $\beta$ 1-3 или $\beta$ 1-6 боковыми цепями, которые прикреплены к полипептидной части посредством O - и N-гликозидных связей	Траметес разноцветный ( <i>Trametes versicolor</i> )	Рака желудка, пищевода, носоглотки, толстой кишки и прямой кишки, легких, рак груди

## Продолжение таблицы

Полисахарид-Р (ПСР)	1-4, 1-2 и 1-3 β-D-глюкозные соединения, вместе с небольшим количеством связей 1-3, 1-4 и 1-6 галактозы, 1-3 и 1-6 маннозы и 1-3 и 1-4 арабинозы	Траметес разноцветный ( <i>Trametes versicolor</i> )	Рак желудка, пищевода и легких
---------------------	--	--	--------------------------------

β-(1→3)-(1→6)-глюканы получают экстракцией из биомассы горячей водой, горячими разбавленными водными растворами кислоты или щелочи [4]. Затем проводят ингибирование гидролитических ферментов. Поэтапно осуществляют процедуры очистки, пока не удастся выделить максимально чистый продукт. Затем проводят хроматографическую очистку для достижения максимальной чистоты действующего вещества.

Механизм действия грибные полисахаридов состоит в том, что они не атакуют раковые клетки, а производят на них противоопухолевое действие, активируя различные иммунные реакции в организме хозяина с помощью стимуляции естественных клеток убийц, т-клеток, Б-клеток, и макрофаг-зависимых реакций иммунной системы, которые в свою очередь атакуют раковые клетки [3]. Такие грибы, как Ганодерма блестящая (*Ganoderma lucidum*) и Грифола курчавая (*Grifola frondosa*) обнаружены в Брестской, Витебской, Гомельской и Минской областях, охраняются в Национальном парке «Беловежская пуца» и «Припятский». Занесены в красную книгу. Численность популяций мала, необходимо делать лабораторные посеы мицелия на субстрате. Наиболее перспективным является Щелелистник обыкновенный (*Schizophyllum commune*). Он распространен по все Беларуси, его можно использовать для промышленного производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bioactive Polysaccharides/ Shaoping N. [et al] // USA: Elsevier Ltd. – 2017. – P. 8–13, 16–17.
2. Qiong Wang. Bioactive Mushroom Polysaccharides: A Review on Monosaccharide Composition, Biosynthesis and Regulation / Qiong Wang, Feng Wang [et al] // School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, China. – P. 2–5.
3. Borchers A.T. Mushrooms, tumors, and immunity / Borchers A.T., Stern J.S. [et al] // Proc. Soc. Exp. Biol. Med. – 1999. – P. 281–293.
4. Е. П. Феофилова. Мицелиальные грибы как источники получения новых лекарственных препаратов с иммуномодулирующей, противоопухолевой и ранозаживляющей активностями / Е. П. Феофилова; РАН, Ин-т микробиологии – Москва, 2004. №1:27 – 32 с.

УДК 535.37+541.65+543.4

Студ. Е.С. Люлькович  
 Науч. рук. зав. кафедрой В.Н. Леонтьев  
 (кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ),  
 зав. кафедрой Н.Н. Крук (кафедра физики, БГТУ)

## АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЯРНОЙ КОНФОРМАЦИИ 5,10,15,20-ТЕТРААРИЛПОРФИРИНОВ В РАСТВОРАХ МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В работе рассмотрена молекулярная конформация тетраарилпорфиринов в растворах на примере водорастворимого 5,10,15,20-тетра-(3-*N*-метилпиридил)-порфирина (далее обозначается как  $H_2T(3-N-MПир)П$ ). Молекула  $H_2T(3-N-MПир)П$  характеризуется отсутствием стерических взаимодействий между тетрапиррольным макроциклом и периферическим заместителями и обладает возможностью вращения пиридильных заместителей вокруг связи  $C_m-C_1$ , что позволяет метилированному атому азота пиридила располагаться либо с одной, либо с другой стороны плоскости тетрапиррольного макроцикла. Различное взаимное расположение четырех периферических заместителей относительно плоскости тетрапиррольного макроцикла обуславливает возможность формирования четырех атропоизомеров. Если обозначить заместитель с атомом азота «над плоскостью» макроцикла как А, а заместитель с атомом азота «под плоскостью» макроцикла как В, то формируются атропоизомеры АААА, АААВ, ААВВ и АВАВ типов, показанные на рисунке 1, статистические веса которых будут относиться как 1:4:2:1 [1].

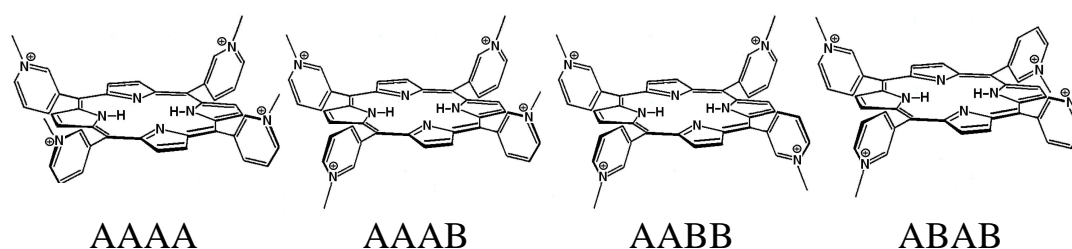
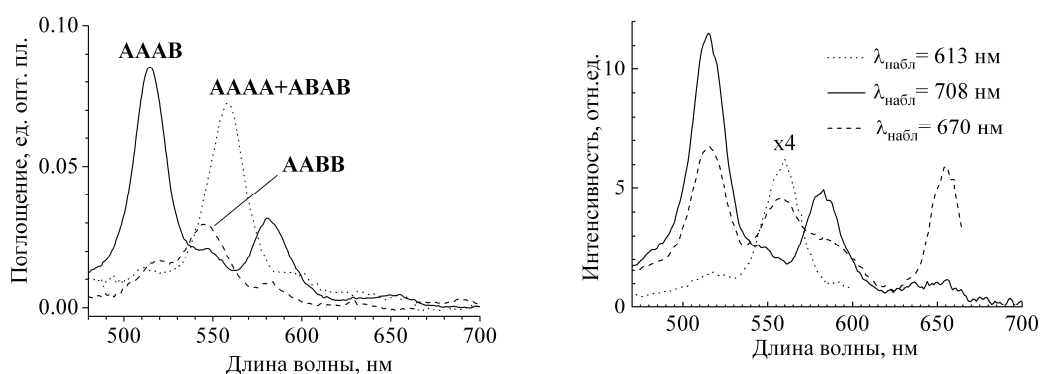


Рисунок 1 – Структура атропоизомеров  $H_2T(3-N-MПир)П$

Электронные спектры поглощения (ЭСП)  $H_2T(3-N-MПир)П$  в водном растворе, измеренные через определенные промежутки времени в течение нескольких часов после его приготовления, обнаруживают временную эволюцию. Наблюдаемые спектральные изменения, как было показано нами ранее [2-4], не связаны с химическим превращением исследуемых молекул и носят

обратимый характер. Изменения ЭСП отражают процесс установления равновесия между атропоизомерами в растворе. Исходный спектр поглощения, измеренный сразу после приготовления раствора, обусловлен (главным образом) поглощением одного атропоизомера. На это указывает отсутствие зависимости спектра флуоресценции раствора от длины волны возбуждения. Однако, уже через 1 час после приготовления такая зависимость обнаруживается, что свидетельствует о формировании в наблюдаемом количестве другого(их) атропоизомера(ов). Нами исследована кинетика спектральных изменений во временном диапазоне до 1600 часов после приготовления раствора при температуре  $290 \pm 2$  К. Измеренные кинетики спектральных превращений на различных длинах волн (514 и 556 нм) хорошо аппроксимируются двухэкспоненциальной функцией (коэффициент парной корреляции  $R^2 = 0.998$ ) с одинаковыми в пределах погрешности характеристическими временами 0,7 и 72 часа. В то же время веса данных компонентов для двух кинетик отличаются, что отражает различное поглощение смеси атропоизомеров при 514 и 556 нм.

С учетом того, что формирование атропоизомеров происходит с различными характеристическими временами, путем спектрального вычитания получены индивидуальные спектры конформеров (рисунок 2). Формирование атропоизомера типа ААВВ происходит на быстрой стадии установления равновесия в растворе, формирование атропоизомеров типа АААА и АВ АВ – на медленной [4].



**Рисунок 2 – Индивидуальные спектры поглощения атропоизомеров  $H_2T(3-N-M\Pi\rho)II$  в равновесном растворе (слева); спектры возбуждения флуоресценции  $H_2T(3-N-M\Pi\rho)II$  в равновесном растворе (справа)**

Анализ спектров флуоресценции позволил нам сделать вывод, что спектры флуоресценции формируются в результате одновременного испускания света тремя различными атропоизомерами (ААВВ, АААА и АВ АВ). Причем в зависимости от выбора длины волны возбуждения

можно с большей или меньшей степенью селективности производить фотовозбуждение того или другого атропоизомера, в результате суммарная форма контура флуоресценции будет изменяться [4]. Из рисунка 2 видно, если регистрировать интенсивность флуоресценции в максимумах характерных полос для различных атропоизомеров как функцию длины волны возбуждения, то полученные таким образом спектры возбуждения флуоресценции практически совпадают с рассчитанными индивидуальными спектрами поглощения отдельных атропоизомеров в растворе.

Таким образом, временная эволюция ЭСП  $H_2T(3-N-MПир)P$  отражает процесс установления равновесного распределения между атропоизомерами, которые являются нестационарными, поскольку отсутствуют стерические препятствия для вращения относительно оси, проходящей через связь  $C_m-C_1$ . Обнаруженная взаимосвязь молекулярной структуры 5,10,15,20-тетраарилпорфиринов и их спектрально-люминесцентных характеристик представляет значительный интерес при создании супрамолекулярных систем с заданными спектрально-люминесцентными свойствами на базе порфиринов с использованием арильных спейсеров, и разработке способов управления оптическими характеристиками таких систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Atropisomers of zinc tetrakis(o-cyanophenyl)porphyrins. The crystal structure of the  $\alpha\beta\beta$ -isomer and the atropisomerization rates / K. Hatano [et al.] // Bull. Chem. Soc. Jpn. – 1987. – Vol. 60, №6. – P. 1985–1992.
2. Крук, Н.Н. Спектральные свойства конформеров тетра-(3-N-метилпиридил)-порфирина в растворах / Н.Н. Крук, Е.С. Люлькович // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем: Междунар. науч. конф., Двенадцатый съезд Белорус. обществ. объединения фотобиологов и биофизиков, Минск, 28-30 июня 2016 г.: сб. ст.: в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: И.Д. Волотовский [и др.]. – Минск, 2016. – Ч. 2. – С. 54–57.
3. Люлькович, Е.С. Атропоизомерия 5,10,15,20-тетраакис-(3-N-метилпиридил)-порфирина / Е.С. Люлькович [и др.] // VI Конгресс физиков Беларуси, Минск, 20 – 23 ноября 2017: сб. научн. трудов. / Институт физики НАН Беларуси; редкол.: С.Я. Килин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 315–316.
4. Люлькович, Е.С. Атропоизомерия 5,10,15,20-тетраакис-(3-N-метилпиридил)-порфирина / Е. С. Люлькович [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2017. – Т. 61, № 5. – С. 56–65.

УДК 615.322

Студ. Я.В. Шлыкова

Науч. рук. доц. О. С. Игнатовец, ст. науч. сотр. Е.В. Феськова  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

## **ИЗУЧЕНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ КОЛЛЕКЦИИ ЦБС НАН БЕЛАРУСИ**

В условиях современной жизни слишком много факторов, негативно влияющих на организм человека, такие, как стрессы, загрязнения пищи и окружающей среды, под воздействием которых возможно нарушение естественной антиоксидантной системы защиты человека, поэтому особый интерес в современное время вызывают антиоксиданты – препараты, способные защитить от вредного воздействия реакционных кислородных и азотных соединений, вызывающих окислительный процесс. Особое место среди антиоксидантов занимают природные антиоксиданты – лекарственные растения. Их применение в медицине в настоящее время особенно актуально, что обусловлено преимуществами по сравнению с химическими медикаментозными препаратами, главное из них – отсутствие побочных эффектов и комплексное воздействие на организм. В связи с этим возникает необходимость поиска наиболее перспективных растений, обладающих высоким потенциалом по содержанию БАВ.

Для выбора объектов исследования среди лекарственного растительного сырья, обладающего наибольшим восстановительным потенциалом, был проведен анализ литературы по заданной тематике, в результате чего были выбраны следующие образцы: буквица лекарственная, адонис весенний, горец змеиный, полынь эстрагон, душица обыкновенная, лаванда лекарственная, солодка голая, пижма обыкновенная, шалфей лекарственный, воробейник лекарственный [1].

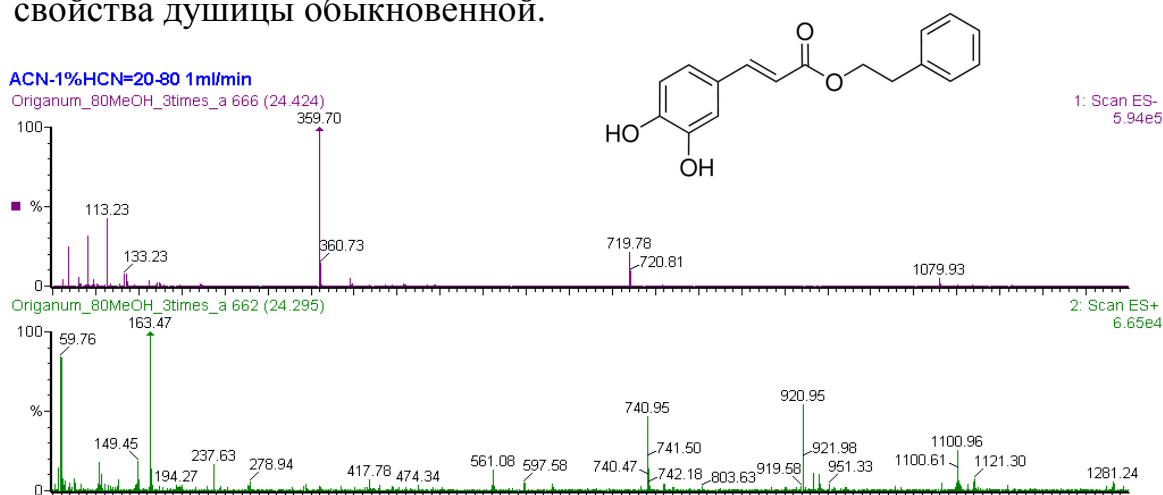
На первом этапе НИР была определена сумма БАВ восстановительного характера, для чего была использована методика, позволяющая проводить скрининг лекарственного растительного сырья с высокой антиокислительной активностью (АОА) для использования их в комплексной терапии свободно-радикальных патологий [2]. Методика основана на окислении перманганатом калия исследуемых соединений. В качестве стандарта использовали кверцетин. Для количественной характеристики АОА препаратов (объектов) введена величина В, представляющая собой содержание суммы БАВ восстанавливающего характера в пересчете

на кверцетин в 1 г препарата (объекта). Чем выше величина В, тем более высокой АОА обладает объект (таблица).

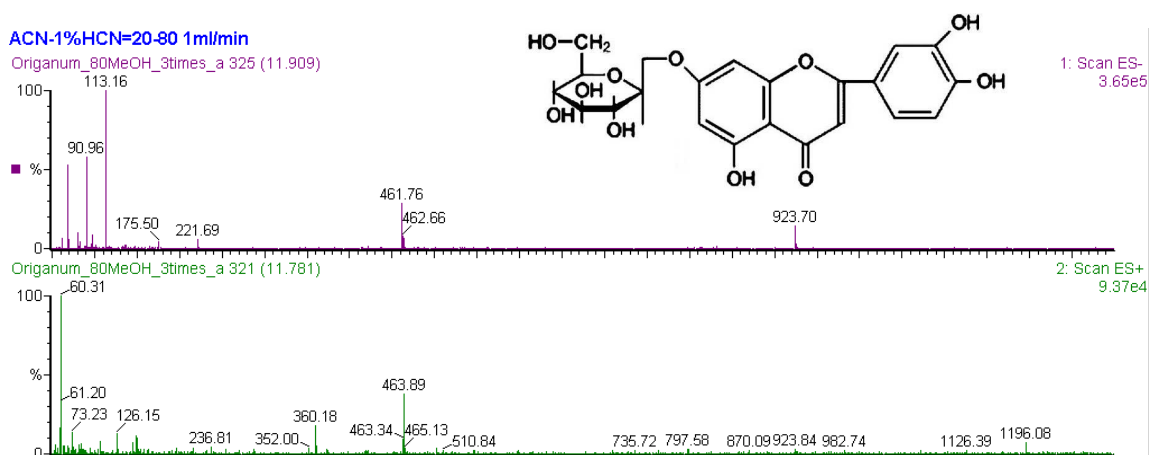
**Таблица – Результаты измерения содержания БАВ**

Лекарственное растение	В, (в пересчете на кверцетин), мг/мл
Буквица лекарственная	26,5
Адонис весенний	20
Горец змеиный	25
Полынь эстрагон	41,7
Душица обыкновенная	50
Лаванда лекарственная	27,8
Солодка голая	20,8
Пижма обыкновенная	25
Шалфей лекарственный	31,25
Воробейник лекарственный	27,8

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что наибольшей антиокислительной активностью обладают душица обыкновенная, шалфей лекарственный и полынь эстрагон. На втором этапе исследования был проведен анализ компонентного состава экстракта душицы обыкновенной с помощью метода ВЭЖХ-МС. По результатам масс-спектрометрического анализа и литературным данным [3-4] был сделан вывод о наличии в душице обыкновенной розмариновой кислоты (рисунок 1) и лютеолин-7-О-глюкоронида (рисунок 2). Анализ литературных данных показал, что данные вещества обладают антиокислительной, противовоспалительной и противораковой активностью. Можно предположить, что именно они ответственны за антиоксидантные свойства душицы обыкновенной.



**Рисунок 1 – Масс-спектр розмариновой кислоты в экстракте душицы обыкновенной**



**Рисунок 2 – Масс-спектр лутеолин-7-О-глюкоронида в экстракте душицы обыкновенной**

Таким образом, можно сделать вывод о возможном использовании экстракта душицы обыкновенной в медицине в качестве средства, ответственного за антиокислительное действие на организм человека, и необходимости проведения дальнейших исследований по установлению оптимального набора флаваноидов в экстрактах лекарственных растений, препятствующих окислительному процессу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В мире антиоксидантов: Учебное пособие для самостоятельной работы студентов высших учебных заведений. / Доровских В.А., Целуйко С.С., Симонова Н.В., Анохина Р.А.; ГБОУ ВПО «Амурская ГМА». – 112 с.

2. Способ определения антиокислительной активности: пат. 2170930 Россия, МПК [G01N33/50](#); [G01N33/52](#) / Максимова Т.В., Никулина И.В.; заявитель: Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова. – № а 20141687850; заявл. 05.05.2000; опубл. 20.07.2001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.freepatent.ru/patents/2170930/](http://www.freepatent.ru/patents/2170930/). – Дата доступа: 15.10.2017.

3. Современные подходы к изучению химического состава лекарственного растительного сырья представителей рода *Origanum* L. и разработка методов его стандартизации/ Д.О. Боков [и др.] – Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т.35. – №7. – с. 94–101.

4. Predicted LC-MS/MS Spectrum - 20V, Positive (HMDB0003572) [Electronic resource] / The Human Metabolome Database (HMDB). – Mode of access: [http://www.hmdb.ca/spectra/ms\\_ms/109957](http://www.hmdb.ca/spectra/ms_ms/109957). Date of access: 08.08.2017.



УДК 615.322

Студ. Д.С. Зданович

Науч. рук. доц. О.С. Игнатовец, ст. науч. сотр. Е.В. Феськова  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

**ИЗУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА  
ЗМЕЕГОЛОВНИКА МОЛДАВСКОГО (*DRACOCÉPHALUM  
MOLDAVICA*) С ЦЕЛЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В настоящее время, несмотря на значительны успехи в создании синтетических лечебных препаратов, использование лекарственных растений не только не снижается, но и заметно возрастает. Поскольку лекарственные средства растительного происхождения обладают широким спектром биологического действия, это позволяет использовать их для лечения и профилактики многих заболеваний. Вещества, которые входят в состав растений, принципиально более родственны человеческому организму по своей природе, нежели синтетические препараты. Отсюда и значительно большая их биодоступность, и именно по этой причине препараты из растительного сырья, как правило, менее аллергенны, чем синтетические лекарственные средства [1]. Они обладают рядом неоспоримых достоинств: низкой токсичностью, легкой усвояемостью человеческим организмом, возможностью длительного их применения без риска возникновения побочных явлений, мягкостью и надежностью действия.

В период с 2010 по 2015 годы в Республике Беларусь отмечена положительная динамика увеличения номенклатуры и объемов выпуска лекарственных средств из растительного сырья. Производимая фармацевтическая продукция имеет высокий экспортный потенциал и обеспечивает значительные валютные поступления в страну, что определяет перспективы ее развития. Таким образом, исследования, направленные на поиск нового сырья для создания фитопрепаратов является весьма актуальной задачей.

Объектом исследования являлся змееголовник молдавский. Змееголовник молдавский проявляет спазмолитическое, адаптогенное, антисептическое, противовоспалительное, эстрогеноподобное действие, стимулирует деятельность коры надпочечников. Лекарственные средства на основе змееголовника молдавского благоприятно влияют при переутомлении и повышенной возбудимости, при дисфункции на фоне гипофункции яичников и заболеваниях, связанных с нарушением обмена веществ [2]. В состав

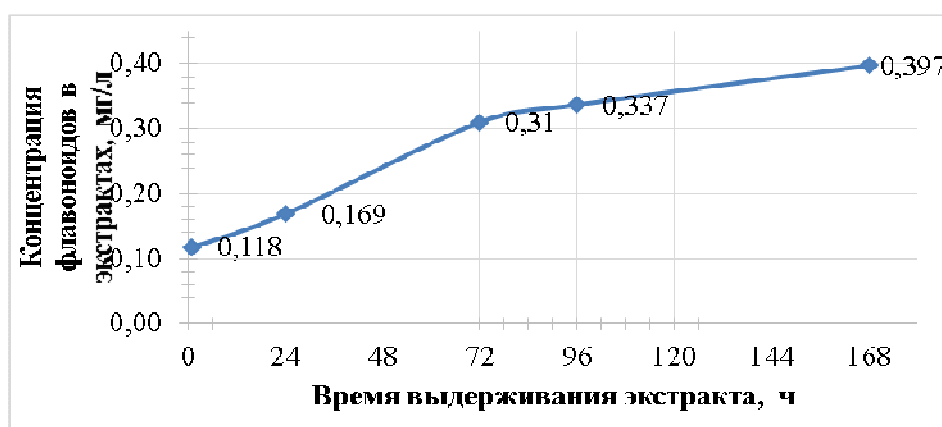
змееголовника молдавского входит эфирное масло, полисахариды, флавоноиды, иридоиды, органические кислоты, тритерпеновые соединения, дубильные вещества, ряд аминокислот, макро- и микроэлементов. Флавоноиды представлены лютеолином, апигенином, цинарозидом, кверцетином, дигидрокверцетином и гесперидином.

На первом этапе НИР определяли параметры экстракции фенольных соединений (время экстракции, соотношение спирт:вода) из змееголовника молдавского. Суммарное содержание фенольных соединений определяли методом Фолина и Чокальтеу в модификации Синглетона и Росси. Метод основан на реакции фенолов с реактивом Фолина-Чокальтеу. В таблице приведены результаты по подбору соотношения воды и этанола в составе экстрагента.

**Таблица – Содержание фенольных веществ в экстрактах**

Параметры	Соотношение спирт и вода		
	30:70	50:50	70:30
$E_{765}$ , нм	0,466	0,966	<b>1,420</b>
Концентрация фенольных соединений, мг-экв галловой кислоты/л	42	76	<b>106</b>
Содержание фенольных соединений в экстракте, мг-экв галловой кислоты/г сухого веса	0,011	0,019	0, 27

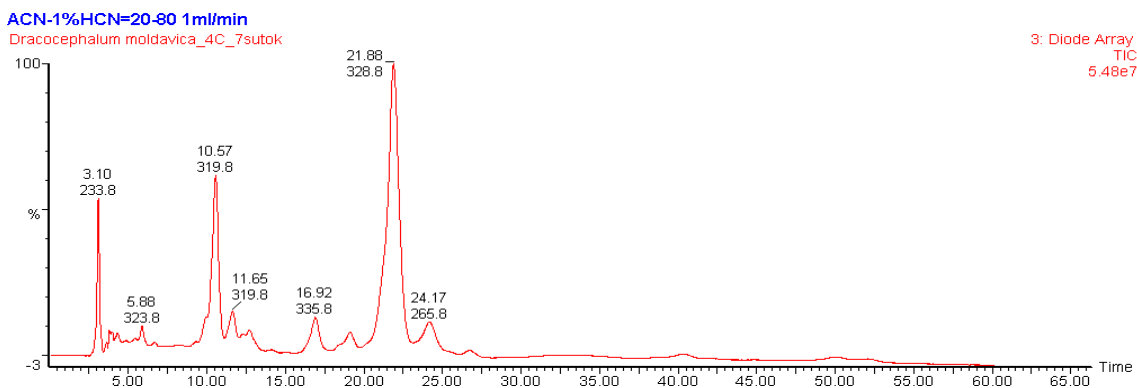
В качестве экстрагента для получения извлечений использовала спирт этиловый:вода в соотношении 30:70, 50:50, 70:30. Установлено, что оптимальным экстрагентом для извлечения фенольных соединений в змееголовнике молдавском является 70% этиловый спирт. Для определения оптимального времени экстракции строили график зависимости общего содержания фенольных соединений от времени экспозиции (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Зависимость общего содержания флавоноидов от времени экстракции**

Как видно из рисунка 1, оптимальным временем экстракции является 72 ч. Концентрация флавоноидов в экстракте при трёхдневном выдерживании достигает максимума и дальнейшее выдерживание не имеет смысла.

Дальнейшим этапом НИР явилось изучение компонентного состава змееголовника молдавского при помощи ВЭЖХ и МС. Результаты представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Хроматограмма экстракта змееголовника молдавского**

По результатам хроматографического анализа, можно сделать вывод, что в состав экстракта змееголовника молдавского входит порядка 8 компонентов. Идентификация индивидуальных веществ с помощью масс-спектрометрии и электронной спектроскопии позволила предположить, что пик со временем удерживания 21,88 мин принадлежит розмариновой кислоте. А пик со временем удерживания 10,57 мин принадлежит гиперозиду. Данные химические соединения обладают биологическими свойствами, которые можно использовать при производстве фитопрепаратов.

Таким образом, можно сделать вывод, что змееголовник молдавский может быть использован в фармацевтической промышленности в качестве сырья при производстве фитопрепаратов с широким спектром биологического действия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлева, Г.П. Лекарственное сырье животного и растительного происхождения. Фармакогнозия / Г.П. Яковлева. – Спб.: Спецлит, 2006. – 845с.

2. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие флавоноиды [Электронный ресурс] / Авторская платформа Pandia.ru. – Режим доступа: <http://www.pandia.ru/text/77/455/13448.php>. – Дата доступа: 02.11.2015.

УДК 628.355

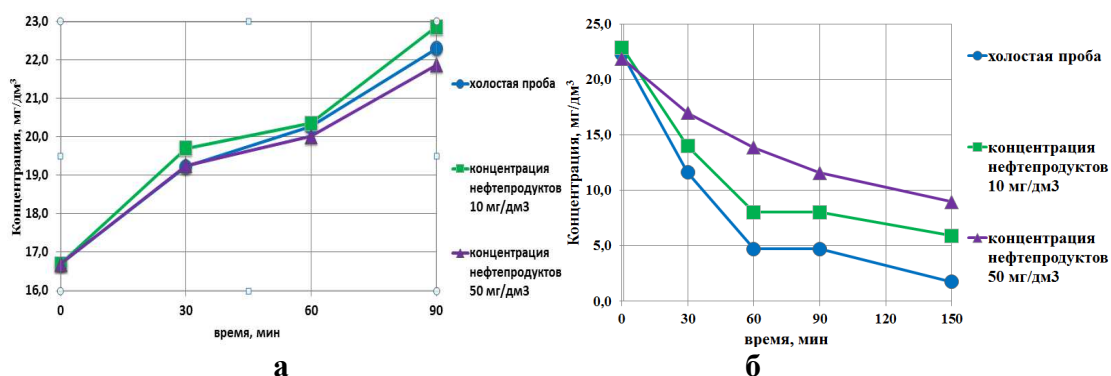
Студ. В.В. Сороговец  
Науч. рук. вед. инженер-технолог О.С. Дубовик  
(МОС УП «Минскводоканал»),  
доц. Р.М. Маркевич  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

## **ВЛИЯНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА БИОЛОГИЧЕСКОЕ УДАЛЕНИЕ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ФОСФОРА**

Нефтепродукты, попав в воду, в основной массе находятся в грубо дисперсном (капельном) состоянии и ввиду меньшей плотности легко выделяются на поверхность воды, образуя плавающую пленку или слой. Другая, меньшая часть нефтепродуктов может оказаться в тонко диспергированном состоянии, образуя эмульсию «нефть в воде». Эмульсии являются весьма устойчивыми системами, не разрушающимися в течение длительного времени и представляют проблему при очистке сточных вод [1].

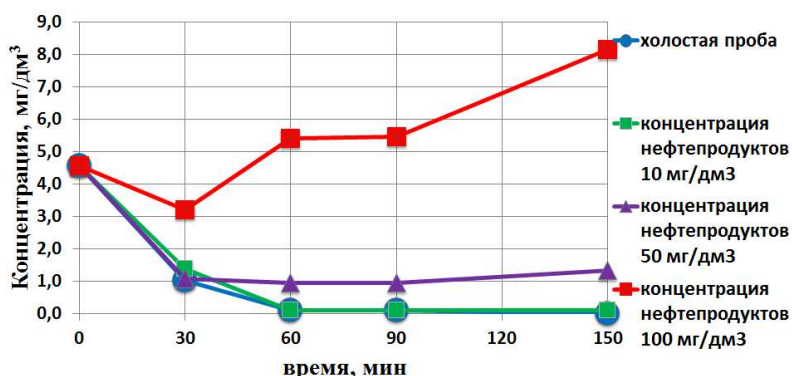
Авторами [2] проведены исследования для оценки влияния нефтепродуктов на биоценоз активного ила сточных вод. Эксперимент показал, что начиная с концентрации  $5 \text{ мг/дм}^3$ , наблюдаются существенные изменения в состоянии биоценоза активного ила. Это выражается в снижении подвижности коловраток и амёб, состоянии ресничной зоны инфузорий, появлении большого числа цист и нитчатых бактерий. Незначительное увеличение концентрации нефтепродуктов ( $7 \text{ мг/дм}^3$ ) проявляется в разрушении флоккул активного ила, увеличении свободных клеток, о чем свидетельствует мутность надиловой жидкости. Более значительные повреждения в биоценозе активного ила наблюдаются при концентрации нефтепродуктов  $10 \text{ мг/дм}^3$ : массовое появление цист, стойкая мутность надиловой жидкости, снижение родового разнообразия, заметные повреждения простейших.

Влияние нефтепродуктов на биоценоз активного ила хорошо исследовано, однако их влияние на биологическое удаление соединений азота и фосфора мало изучено, что делает данный вопрос актуальным. Для оценки влияния различных концентраций нефтепродуктов на биологическое удаление из сточных вод соединений азота и фосфора были использованы осветленные сточные воды и циркуляционный активный ил Минской очистной станции. Из них готовилась иловая смесь в соотношении 1:1, которую инкубировали в анаэробных, а затем в аэробных условиях, а также проводился опыт инкубирования без предварительной анаэробной стадии. Полученные данные представлены на рисунках 1–5.



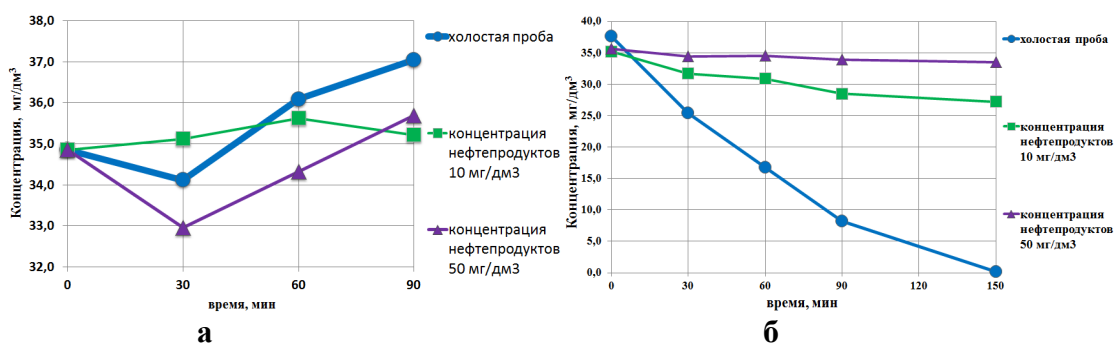
**Рисунок 1 – Влияние нефтепродуктов на содержание фосфора фосфатного:**

**а – анаэробные условия; б – аэробные условия**



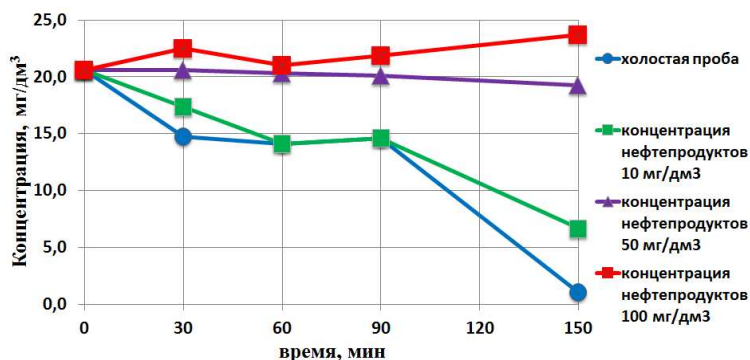
**Рисунок 2 – Влияние нефтепродуктов на содержание фосфора фосфатного**

**в аэробных условиях без предварительной анаэробной стадии**

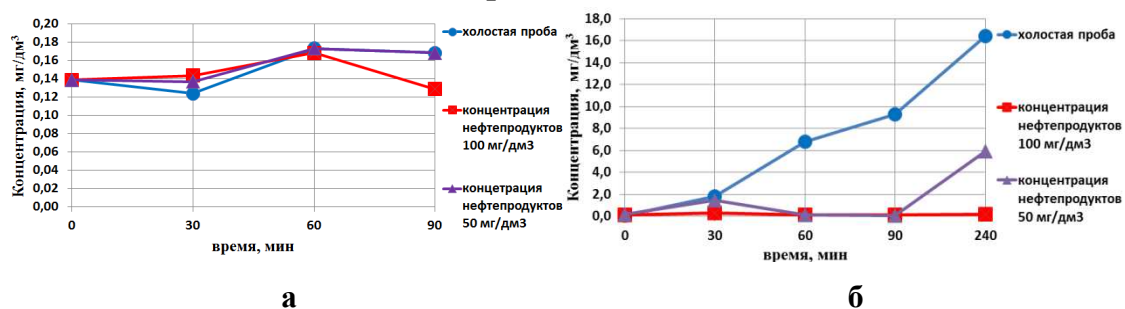


**Рисунок 3 – Влияние нефтепродуктов на содержание азота аммонийного:**

**а – анаэробные условия; б – аэробные условия**



**Рисунок 4 – Влияние нефтепродуктов на содержание азота аммонийного в аэробных условиях без предварительной анаэробной стадии**



**Рисунок 5 – Влияние нефтепродуктов на содержание азота нитратного: а – анаэробные условия; б – аэробные условия**

Проанализировав полученные данные, можно сделать выводы, что при концентрации нефтепродуктов  $10 \text{ мг/дм}^3$  процесс дефосфотации и нитрификации сточных вод значительно ухудшается при наличии анаэробной стадии перед аэробной. Однако, такого влияния не наблюдается при инкубировании без предварительной анаэробной стадии. С повышением концентрации нефтепродуктов до  $50 \text{ мг/дм}^3$  процессы дефосфотации и нитрификации практически не протекают, как в случае с предварительной анаэробной стадией, так и без. Важно отметить, что при высокой концентрации ( $100 \text{ мг/дм}^3$ ) содержание P и N увеличивается, что говорит о губительном влиянии такой концентрации нефтепродуктов на биоценоз активного ила. Ввиду малой концентрации нитратов в исходной иловой смеси, не удалось оценить существенного влияния нефтепродуктов на процесс денитрификации, однако, уменьшенное повышение содержания нитратов в аэробной стадии в пробе с концентрацией нефтепродуктов  $50 \text{ мг/дм}^3$ , по сравнению с холостой пробой, еще раз доказывает, что процесс нитрификации высокочувствителен к данной концентрации нефтепродуктов. А при концентрации  $100 \text{ мг/дм}^3$  увеличения содержания нитратов не наблюдается, что подтверждает ранее сказанное о торможении нитрификации при данной концентрации

нефтепродуктов в связи с разрушительным действием на активный ил и глубокую очистку сточных вод в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Долина, Л.Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Континент, 2005. – 296 с.

2. Биомониторинг активного ила – перспективный путь решения проблемы экспресс контроля процесса биологической очистки нефтесодержащих сточных вод / Е.С. Балымова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. Том 15. – 2012. – №2. – С. 50–52.

УДК 628.355

Студ. М.В. Степанчикова  
Науч. рук. доц. Р.М. Маркевич  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ);  
инж. Ю.И. Ахмадиева (УП «Минскводоканал»)

## **УСТАНОВЛЕНИЕ ДОЗЫ АЛЮМОСОДЕРЖАЩЕГО КОАГУЛЯНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА**

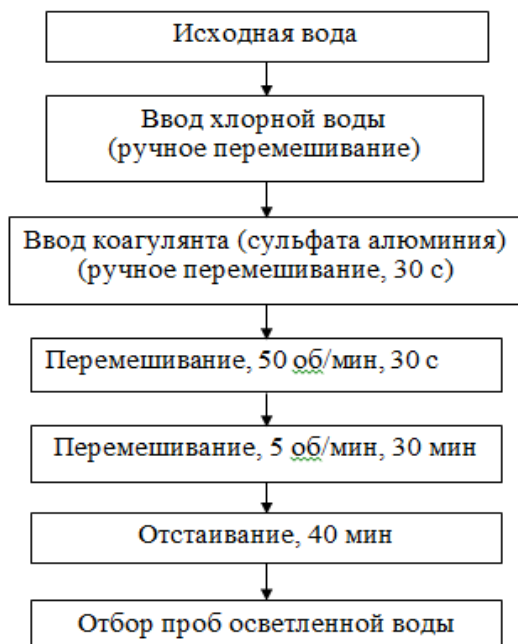
Процесс коагуляции является практически единственным методом очистки воды от мутности, цветности, органических и неорганических, природных и антропогенных загрязнений. Частично удаляются также биологические загрязнения воды – планктон и водоросли. И от того, как осуществляется этот процесс на водопроводной станции, зависит качество питьевой воды.

Обработка воды коагулированием производится добавлением к ней минеральных солей с гидролизующимися катионами, анодным растворением металлов или простым изменением рН среды, если в обрабатываемой воде (сточной жидкости) уже содержатся в достаточном количестве катионы, способные образовывать при гидролизе малорастворимые соединения. В настоящее время на водоочистных станциях большое распространение получили коагулянты на основе алюминия и железа, причем наибольший объем реагентов выпускается на основе алюминия. Выделяют следующие виды алюмосодержащих коагулянтов: полиоксихлорид алюминия, полиоксисульфат алюминия, полихлорсульфат алюминия, хлорид алюминия, сульфат алюминия [1].

Экспериментальное коагулирование представляет собой лабораторный опыт, целью которого является подбор доз реагентов и, при необходимости, поиск оптимальных условий их применения. Опыты экспериментального коагулирования воды проводятся на установке с механическим перемешиванием, обеспечивающей имитацию режимов, соответствующих условиям технологической очистки воды, в качестве коагулянта используется сульфат алюминия.

Эффективность осветления в отобранной пробе воды оценивается по качественным показателям воды: мутности, цветности, водородному показателю (рН), перманганатной окисляемости, остаточному алюминию, наличию фитопланктона. По результатам экспериментального коагулирования выбирается доза коагулянта, которая обеспечит оптимальные значения контролируемых показателей. На рисунке 1 представлена схема проведения экспериментального коагулирования.



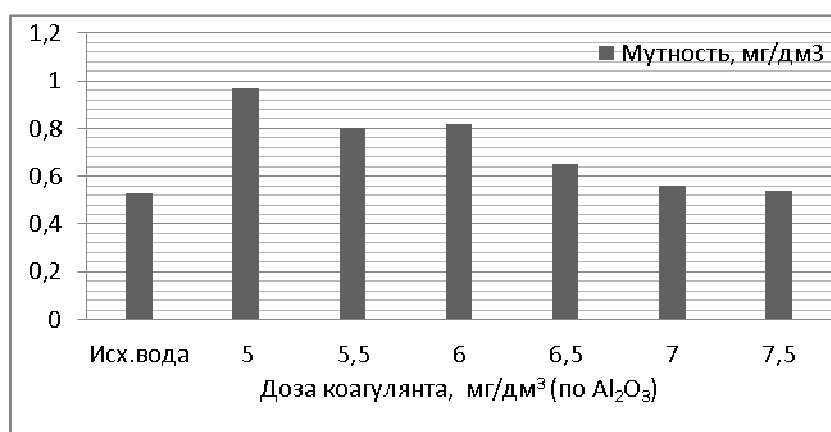


**Рисунок 1 – Схема проведения экспериментального коагулирования**

Результаты экспериментального коагулирования приведены в таблице и на рисунках 2–5 за февраль 2018 года.

**Таблица – Качественные показатели воды**

Доза коагулянта, мг/дм <sup>3</sup> (по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	рН	Т °С	Клетки фитопланктона, кл/см <sup>3</sup>	Биомасса фитопланктона, мг/дм <sup>3</sup>
Исх №1	7,8	4,3	78	0,01
5,0–7,5	7,5–7,6	3,9–4,3	16	0,01



**Рисунок 2 – Зависимость мутности воды от дозы коагулянта**

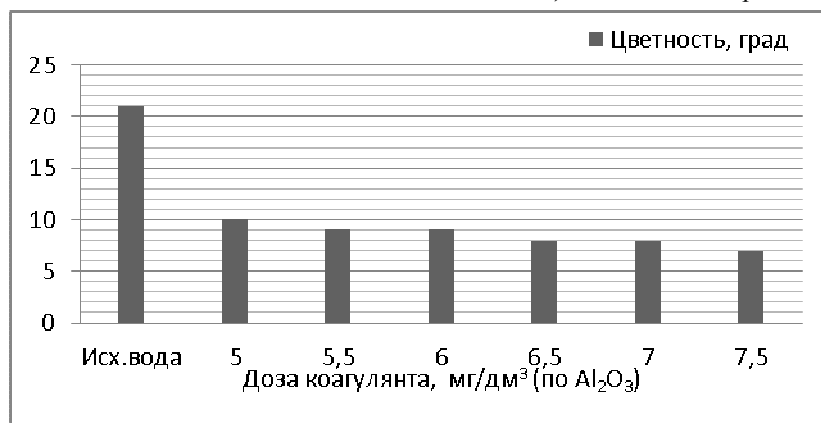


Рисунок 3 – Зависимость цветности воды от дозы коагулянта

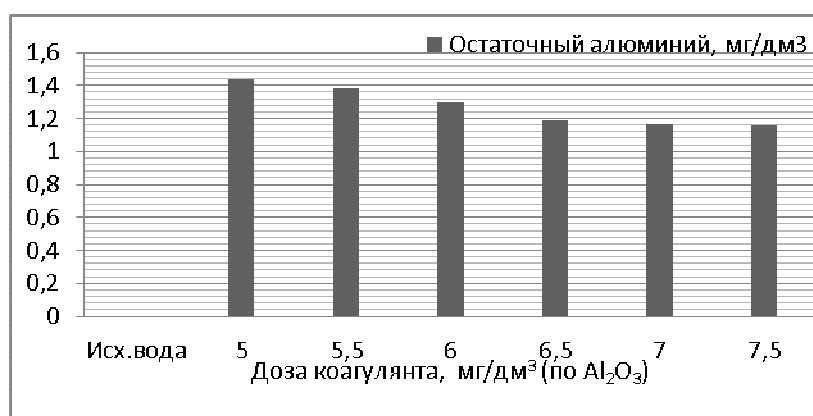


Рисунок 4 – Зависимость остаточного алюминия в воде от дозы коагулянта

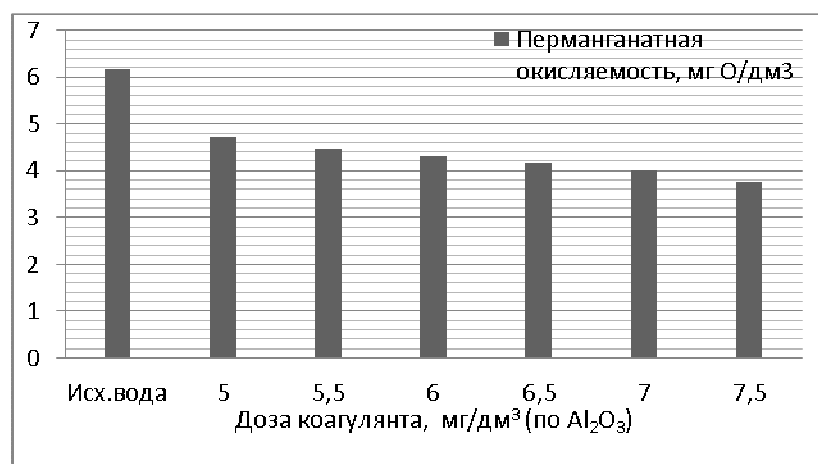


Рисунок 5 – Зависимость перманганатной окисляемости воды от дозы коагулянта

Увеличение дозы коагулянта не обеспечивает существенного повышения эффективности осветления воды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Реагентная обработка поверхностных природных вод алюмосодержащими коагулянтами: моногр. / Б.М. Гришин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2016. –140 с.

УДК 628.355

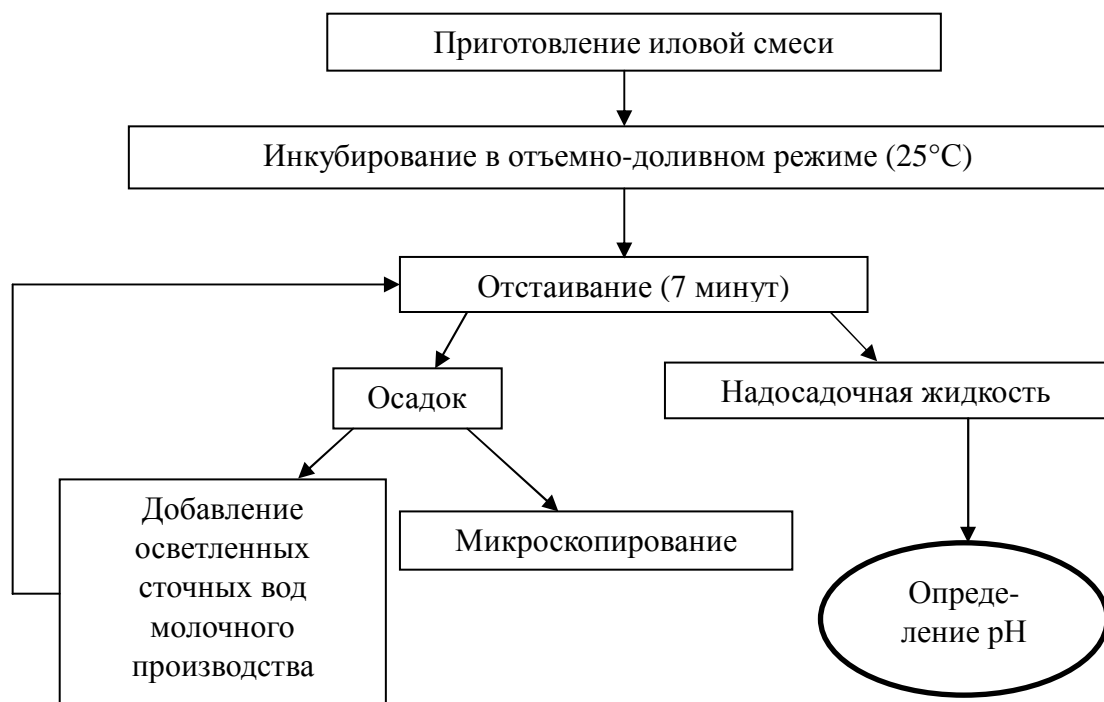
Магистрант Т.С. Хильченко, студ. Д.В. Николенко  
Науч. рук. доц. Р. М. Маркевич  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

#### **ГРАНУЛИРОВАНИЕ АКТИВНОГО ИЛА В УСЛОВИЯХ АЭРАЦИИ НА МОДЕЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОДАХ ПИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

По расходу воды на единицу выпускаемой продукции пивоваренное производство занимает одно из первых мест среди отраслей пищевой промышленности. Количество образующихся сточных вод варьируется и определяется мощностью предприятия, принятой технологией и оборудованием [1]. Сточные воды пивоваренной промышленности содержат нерастворимые, растворимые, коллоидные вещества и характеризуются содержанием большого количества органических соединений [2].

Цель исследовательской работы заключалась в выявлении оптимальных условий для формирования гранул активного ила (АИ) в лабораторных условиях на модельных водах пивоваренного производства. Объектами исследования являлись иловая смесь ОАО «Поставский молочный завод» и модельные сточные воды, имеющие уровень загрязненности по ХПК 4000 мг/дм<sup>3</sup>.

На рисунке 1 представлена схема проведения опыта и условия формирования гранул.



**Рисунок 1 – Схема эксперимента**

Модельные сточные воды пивного производства использовались в двух параллельных экспериментах: в первом варианте АИ культивировался на ячменном сусле, во втором – на ячменном сусле с добавлением дробленного ячменя, частицы которого должны были послужить центрами для формирования гранул.

Уже на 7 сутки инкубирования отмечалось образование агрегатов активного ила (рисунок 2) и формирование биопленки на внутренней поверхности колб (рисунок 3), свидетельствующее о синтезе внеклеточного полисахарида. Сформированные агрегаты обладали хорошими седиментационными свойствами и механической устойчивостью.



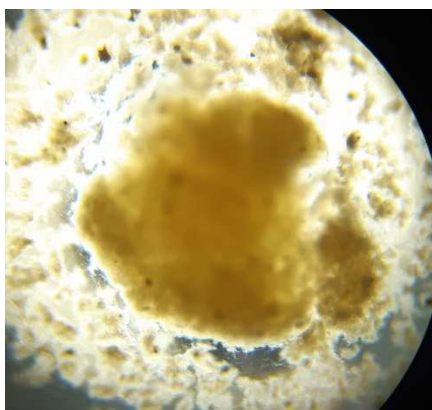
**Рисунок 2 – Активный ил на модельных сточных водах пивного производства на 7 сутки**



**Рисунок 3 – Биопленка на внутренней поверхности колбы**

На 25 сутки в колбах, где подпитка производилась модельными сточными водами, отмечались крупные гранулоподобные агрегаты диаметром от 0,5 до 2,0 мм (рисунок 4), с численным преобладанием гранул диаметром около 1мм. В колбах с внесением дробленого зерна биообрастаний частиц не отмечалось.

На 35 сутки во всех колбах отмечалось угнетение агрегатов активного ила (рисунок 5) и ухудшение седиментационных свойств, поэтому было принято решение о внесении серной кислоты. Ранее было установлено, что добавление серной кислоты в качестве стрессового фактора стимулировало агрегацию активного ила. Однако внесение кислоты совпало с другим стрессовым фактором, в качестве которого выступили создавшиеся анаэробные условия. Сочетание двух этих факторов оказало крайне негативное влияние на биоценоз активного ила и при дальнейшем инкубировании привело к его гибели.



**Рисунок 4 – Агрегаты АИ на 25 сутки инкубирования**



**Рисунок 5 – Угнетенный АИ на 35 сутки инкубирования**

Таким образом, установлено, что модельные воды пивного производства являются полноценной средой для формирования агрегатов активного ила. Наличие частиц дробины не способствует ускорению агрегации активного ила. Вместе с тем отмечено, что сформированные гранулы не способны к длительному существованию в устойчивом состоянии, необходимо создавать дополнительные условия, способствующие агрегации микроорганизмов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вторичные материальные ресурсы пивоварения / Колпакчи А.П., О.В.Андреева – М.: Переработка сточных вод пивоваренного производства. – 1986. – С. 62–67.

2. S. D. Weber / Microbial Composition and Structure of Aerobic Granular Sewage Biofilms / S. D. Weber, W. Ludwig, K.-H. Schleifer, and J. Fried // Applied and environmental microbiology, Washington, USA. – Oct. 2007. – pp. 6233–6240.

УДК 628.355

Магистрант Т.С. Хильченко, студ. Ю.В. Тацевич  
Науч. рук. доц. Р.М. Маркевич  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

#### **ГРАНУЛИРОВАНИЕ АКТИВНОГО ИЛА В УСЛОВИЯХ АЭРАЦИИ НА ПИТАТЕЛЬНОМ БУЛЬОНЕ**

В настоящее время одним из эффективных путей совершенствования аэробной биологической очистки сточных вод является управление качеством активного ила для поддержания его высокой окислительной способности, улучшения седиментационных свойств, уменьшения вспухаемости и пенообразующей способности в аэротенке [1]. В современной практике для очистки высокозагрязненных сточных вод пищевой промышленности наиболее часто используют очистные сооружения, включающие отдельные этапы анаэробной и аэробной обработки, что в значительной степени удорожает строительство и эксплуатацию очистных сооружений. В этой связи определенный интерес могут представлять возможности формирования в среде гранулированного ила, т.к. в каждой отдельной грануле происходят как аэробные, так и анаэробные процессы разложения загрязняющих компонентов до простых продуктов. Гранулы активного ила демонстрируют более высокую степень очистки сточных вод, они более устойчивы к повышенным нагрузкам по загрязняющим веществам и наличию токсичных веществ. Преимуществом использования

гранулированного активного ила является облегчение разделения очищенной воды и ила при отстаивании. Удаляются соединения фосфора и аммонийные производные, но полной денитрификации можно добиться только после формирования гранул. Целью работы являлось выявление оптимальных условий, влияющих на формирование гранул активного ила в лабораторных условиях при использовании в качестве субстрата модельных вод на основе питательного бульона (ПБ). Объектами исследования являлись иловая смесь ОАО «Поставский молочный завод» и модельные сточные воды, имеющие уровень загрязненности по ХПК 4000 мг/дм<sup>3</sup>.

Для приготовления иловой смеси активный ил переносили в мерный цилиндр, отстаивали в течение 7 мин, сливали 70 мл надосадочной жидкости, доводили объем смеси до 100 мл осветлёнными сточными водами молочного производства. Гранулы формировались в конических колбах в отъемно-доливном режиме в условиях аэрации в шейкере-инкубаторе при рабочей частоте 140 об/минуту, при температуре 25С, с пересевом 1 раз в 7 суток. Длительность культивирования составила 40 суток.

В первые 7 суток в колбах отмечалось образование агрегатов активного ила, не обладающих механической устойчивостью. Особенностью этих агрегатов была возможность восстанавливать округлую форму после разрушения при активном встряхивании колбы, в которой они культивировались (рисунок 1). На 20 сутки культивирования наблюдалось угнетение агрегатов, и активное образование биопленки на стенках колбы (рисунок 2).



**Рисунок 1 – Активный ил на ПБ  
(7 сутки культивирования)**



**Рисунок 2 – Активный ил на ПБ  
(20 сутки культивирования)**

К 35 суткам во всех колбах отмечалось угнетение агрегатов активного ила, и ухудшение седиментационных свойств, поэтому было принято решение о внесении серной кислоты в качестве стрессового

фактора, что должно было стимулировать агрегацию активного ила. Но внесение кислоты совпало с другим стрессовым фактором, в качестве которого выступили создавшиеся анаэробные условия. Сочетание двух этих факторов оказало крайне негативное влияние на биоценоз активного ила, с последующей гибелью активного ила.

Таким образом, ПБ является полноценной средой для формирования агрегатов активного ила, но для поддержания гранул необходимо создавать дополнительные условия способствующие агрегации микроорганизмов. Стоит отметить необходимость активной аэрации при внесении серной кислоты, в качестве стрессового фактора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование грануляции активного ила при воздействии агентов стресса в отъемно-доливном процессе аэробной биологической очистки / Н.С. Хохлачев [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Том 14, №5(3). – С. 853–856.

УДК 628.355

Студ. М.О. Булай, С.О. Лукашевич  
Науч. рук. доц. Р.М. Маркевич, инж. О.В. Нестер  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

#### **ДИНАМИКА ХПК СТОЧНЫХ ВОД МОЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ГРАНУЛИРОВАНИЯ АКТИВНОГО ИЛА**

Самыми эффективными современными методами считаются биологические методы очистки сточных вод, среди них чаще всего используют очистку в аэротенках (с активным илом) различных модификаций и на биофильтрах (с биопленкой) [1].

Один из путей совершенствования аэробной биологической очистки сточных вод связан с управлением качеством активного ила с целью поддержания его высокой окислительной способности, уменьшения вспухаемости и пенообразующей способности в аэротенке, улучшения седиментационных свойств во вторичном отстойнике, адгезионных свойств при очистке на биофильтрах и в биотенках и, напротив, снижения адгезионных, адсорбционных свойств при очистке, например, в мембранных биореакторах. В этой связи определенный интерес могут представлять возможности формирования в среде гранулированного ила [2].



Целью исследований является установление условий формирования гранул на сточных водах молочного производства в условиях аэрации. Объектами исследования являлись циркуляционный активный ил очистных сооружений г. Минска и ОАО «Поставский молочный завод» и сточные воды молочного производства. Схема проведения эксперимента представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента

Методика культивирования.. Иловую смесь готовили, смешивая 30 мл циркуляционного активного ила и 70 мл сточных вод молочного производства с откорректированным значением рН, и инкубировали её в конических колбах ёмкостью 250 мл при температуре 25 °С, в шейкере–инкубаторе. При пересевах культуры активного ила содержимое конической колбы количественно переносили в мерный цилиндр на 100 мл, смесь отстаивалась в течение 7 мин, сливали 70 мл надосадочной жидкости и доводили уровень сточными водами.

Для установления закономерности влияния различных факторов на гранулообразование активного ила, на исследование было выделено 4 экспериментальные группы:

- группа 1 – иловая смесь с использованием АИ Минских очистных сооружений;
- группа 2 – иловая смесь с использованием АИ Минских очистных сооружений с добавлением анаэробного гранулированного АИ в объёме 20% от объёма АИ;
- группа 3 – иловая смесь с использованием АИ очистных сооружений ОАО «Поставский молочный завод»;
- группа 4 – иловая смесь с использованием АИ очистных сооружений ОАО «Поставский молочный завод», инкубирование которой осуществлялось в условиях чередования аэробно–анаэробного режима, сут/сут.

Т.к. одним из основных факторов, влияющих на гранулообразование активного ила, является чередование условий обильного питания и голодания микроорганизмов, в рамках

поставленного эксперимента ежедневно производилось определение значений ХПК для установления оптимальных режимов подпитки исследуемых иловых смесей. Значения рН всех исследуемых образцов на протяжении эксперимента находились в интервале 6,5 – 7,5.

По результатам динамики ХПК иловых смесей были выбраны следующие режимы подпитки:

- группа 1 – 1 раз в 10 сут;
- группа 3 – 1 раз в 5 сут;
- группа 4 – 1 раз в 6 сут.

Увеличение значения ХПК иловой смеси группы 2, предположительно, является результатом разложения анаэробных гранул и высвобождения органических веществ. По этой причине дальнейшее исследование данной группы приняли нецелесообразным.

Результаты и обсуждение. В ходе проведения эксперимента были получены гранулы активного ила в колбах группы 1 (рисунок 2) и группы 3 (рисунок 3). Размеры гранул в колбах 1 группы составили 1–1,5 мм, а в колбах 3 группы – 1,5–3 мм. В колбах 4 экспериментальной группы образовались плотные флоккулы активного ила.



а

б

**Рисунок 2 – Гранулы 1 экспериментальной группы:  
а – нормальная величина; б – в поле зрения микроскопа, увеличение  
×10 раз)**



а

б

**Рисунок 3 – Гранулы 3 экспериментальной группы:  
а – нормальная величина; б – в поле зрения микроскопа, увеличение  
×10 раз**

Гранулы и 1, и 3 экспериментальных групп имеют округлую форму, однако гранулы, полученные на основе АИ очистных сооружений ОАО «Поставский молочный завод» более крупные, механически более устойчивы и имеют чёткие структурированные края.

Поставленный нами эксперимент ещё раз показывает, что чередование условий обильного питания и голодания биомассы активного ила благоприятно сказывается на процессе его грануляции. Внесение анаэробного гранулированного ила в качестве «затравки» для гранулообразования не увенчалось успехом, однако, можно предположить, что использование в этих же целях аэробных гранул либо другого материала может дать положительный результат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. Учебное пособие / Э.К. Голубовская // М.: Высшая школа, 1978 – С. 268.
2. Сироткин А.С. Агрегация микроорганизмов: флоккулы, биопленки, микробные гранулы / А.С. Сироткин, Г.И. Шагинурова, К.Г. Ипполитов // Казань: Издательство «Фен» АН РТ, 2007. – С. 160.

УДК 579.64

Студ. Е.Ю. Смусь, К.Ю. Голуб  
Науч. рук. ассист. Д.С. Сергиевич  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

#### **СОЗДАНИЕ КОЛЛЕКЦИИ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ**

Фосфор — чрезвычайно важный элемент, который входит в состав многих макромолекул, таких как ДНК, РНК и некоторых кофакторов. В почвах общие запасы фосфора очень малы всего 0,1-0,2%. Эта проблема усугубляется тем, что только незначительная его часть находится в форме, доступной для растений [1].

Дефицит фосфора приводит к нарушению развития растений, тормозится синтез белков и углеводов, происходит задержка роста, наблюдается заметное снижение урожая.

На сегодняшний день известно, что одним из наиболее выгодных и экологически безопасных приемов активации низкосортных фосфоритов является применение микроорганизмов, способных высвободить фосфаты из низкосортных фосфоритов в почвенный раствор в пределах ризосферной зоны сельскохозяйственных культур [2].

Однако для использования этой особенности почвенных микроорганизмов необходимо обеспечить получение всесторонней информации об условиях и скорости высвобождения фосфатов, разнообразии почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов.

Цель работы – изучение разнообразия почвенных фосфатмобилизующих бактерий для создания коллекции на кафедре биотехнологии и биоэкологии БГТУ.

Выделение микроорганизмов осуществляли высевом почвенной суспензии образцов с разных участков методом Коха [3]. Колонии бактерий, различающиеся морфологически, подвергали расчистке методом истощающего штриха с использованием глюкозо-аммонийной среды с добавлением нерастворимого фосфата кальция, служившим единственным источником фосфора в ПС. Таким образом, получено 16 изолятов почвенных бактерий способных к росту на среде, не содержащей фосфор в растворимой форме.

Предварительную оценку фосфатмобилизующей активности проводили исходя из сопоставления размеров зон просветления, образующихся вокруг колоний бактерий, способных к переводу фосфата кальция в растворимую форму [3]. Результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Активность мобилизации фосфата почвенными бактериями**

Название штамма	Диаметр зон <sub>з</sub> , мм	Диаметр бляшки <sub>бл</sub> , мм	Коэффициент растворимости фосфата $d/d_{з бл}$
М.1	20±1	8±1	2,50
М.2	не выявлено	5	-
М.3	10±1	6±1	1,67
М.4	15±1	7±1	2,14
М.5	18±1	6±1	3,00
М.6	16±1	6±1	2,67
М.7	не выявлено	6±1	-
М.8	23±1	9±1	2,65
М.9	15±1	8±1	1,88
М.10	20±1	7±1	2,86
М.11	12±1	6±1	2,00
М.12	22±1	7±1	3,14
М.13	11±1	10±1	1,10

## Продолжение таблицы 1

М.14	не выявлено	7±1	-
М.15	12±1	17±1	1,71
М.16	25±1	7±1	3,43

Из таблицы 1 видно, что лишь 9 штаммов выделенных бактерий обладают высокой фосфатмобилизующей активностью (коэффициент растворимости фосфата не менее 2,0). Именно эти штаммы и были отобраны для дальнейших исследований, заключающихся в изучении высвобождения растворимого фосфата из фосфоритов в жидкой среде.

Для определения концентрации растворимого фосфата в жидкой глюкозо-аммонийной среде с фосфоритами использовали спектрофотометрический метод [2]. Результаты приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Динамика накопления фосфата в культуральной жидкости**

Название штамма	Концентрация фосфата в КЖ С(PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ), ммоль/л		
	Сут. 3	Сут. 5	Сут. 7
1	2	3	4
Контроль (без бактерий)	0,013±0,007	0,122±0,008	0,309±0,008
М.6	0,181±0,005	0,964±0,010	1,028±0,010
М.12	0,791±0,008	0,951±0,010	1,178±0,010
М.16	0,834±0,010	1,089±0,011	1,301±0,010
М.5	0,161±0,005	0,522±0,008	0,584±0,010
М.8	0,883±0,010	1,527±0,011	2,848±0,016
М.10	0,215±0,005	0,808±0,010	3,219±0,020
М.1	0,151±0,005	0,675±0,008	0,932±0,010
М.4	0,063±0,005	0,532±0,008	1,137±0,010
М.11	0,042±0,007	0,514±0,008	0,701±0,008

Как можно заметить из таблиц 1 и 2 наибольшую активность в жидкой среде имеет только два штамма выделенных бактерий (М.8 и М.10), эти же бактерии проявили высокую активность мобилизации фосфата кальция на плотной среде. Однако подобная закономерность проявляется далеко не у всех выделенных бактерий. Отличия в активности проявляемой выделенными штаммами на плотной и жидкой средах могут быть связаны с тем, что в качестве источника нерастворимых фосфатов выступали различные по доступности к мобилизации субстраты. Так известно, что фосфат кальция лучше

подвержен микробной мобилизации, нежели другие нерастворимых соединения фосфата входящие в состав фосфоритов.

В результате исследования нами выделено 13 штаммов почвенных бактерий способных к мобилизации фосфата, однако, наиболее выраженной фосфатмобилизующей активностью обладает лишь 30 % выделенных штаммов. При этом установлено, что их активность зависит от формы нерастворимого фосфата.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Титова, В.И. Фосфор в земледелии Нижегородской области / В.И. Титова, О.Д. Шафронов, Л.Д. Варламова. // Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 219 с.
2. Сергиевич, Д. С. Выделение почвенных бактерий, способных осуществлять активацию низкосортных фосфатных руд / Д.С.Сергиевич, Н.А. Белясова // II-ая международная студенческая научно-практическая конференция «Биотехнология: взгляд в будущее»: сб. науч. работ. – Ставрополь, 22 апреля 2016 г. – СГМУ РФ – С. 175-179.
3. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии – М.: Дрофа, 2004. – 256 с.

УДК 637.146

Студ. Н.И. Казмерчик  
Науч. рук. доц. А.В. Игнатенко  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

### **СПИРТОВОЕ БРОЖЕНИЕ И РЕДУКТАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ**

Дрожжи широко используются в пищевой и перерабатывающей промышленности в биотехнологических процессах хлебопекарного, молочнокислого, пивного производства, в виноделии и др. [1, 2].

Пивные дрожжи отличаются от других видов дрожжей способностью накапливать большое количество белков, микроэлементов, витаминов, в первую очередь витаминов группы В, а также аминокислот, поэтому они широко применяют в качестве витаминных, иммуномодулирующих БАДов, в качестве пищевой и кормовой добавки. Различают пивные дрожжи верхового брожения, относящиеся к виду *S. cerevisiae*, а низового брожения – *S. carlsbergensis*, отличающиеся способностью полностью сбраживать раффинозу, в отличие от *S. cerevisiae*. Данные дрожжи не способны метаболизировать лактозу молочной сыворотки для спиртового

брожения и наращивания биомассы. В этой связи для использования молочной сыворотки в пивном производстве необходим отбор дрожжей, способных расщеплять лактозу, а также обладающих высокой активностью спиртового брожения. Важным свойством дрожжевых клеток является их редуктазная активность, характеризующая биоэнергетические возможности клеток и их способность быстро наращивать биомассу и обеспечивать высокую бродильную активность.

Цель данной работы – выделение пивных дрожжей, сбраживающих лактозу молочной сыворотки с образованием этанола, и анализ их редуктазной активности. В работе использовали следующее оборудование: микрокалориметр МКМ-Ц; рефрактометр ИРФ-464, спектрофотометр СФ-26, рН метр – рН 211, центрифугу – ОП-8.

Объектом исследования служила молочная сыворотка, полученная из молока методом кислотного сквашивания и культура клеток дрожжей, выделенных из живого пива «Schofferhofer» методом посева разведений в физиологическом растворе (ФР) на сусло агар (СА). Клетки культивировали при 25°C в течение 5 сут. Выделенные колонии клеток проверяли на чистоту методом последовательного пересева и идентификации их морфологических и биохимических свойств.

Для определения способности выделенных клеток дрожжей сбраживать углеводы использовали метод Гисса. В качестве углеводов служили моно- и дисахариды: глюкоза, фруктоза, галактоза, сахароза, мальтоза, лактоза, раффиноза.

Редуктазную активность выделенных клеток дрожжей и молочнокислых бактерий сыворотки определяли с редокс красителем метиленовым синим (МС). Для этого к 8 мл молочной сыворотки добавляли 1 мл клеток дрожжей или бактерий ( $10^7$  кл/мл) и 1 мл МС (0,01%). Пробирки закрывали пробками и термостатировали при 25°C до полного обесцвечивания красителя.

Для ускорения анализа также использовали метод оптико-редуктазной пробы. Для этого регистрировали кинетику обесцвечивания МС в приготовленных выше пробах по изменению оптической плотности  $D_{660 \text{ нм}}$  в закрытых спектрофотометрических кюветах. Пастеризацию сыворотки осуществляли нагреванием до температуры кипения и отделение сывороточных белков фильтрацией осадка на бумажном фильтре. Затем в охлажденную и осветленную сыворотку вносили суточную культуру дрожжей и осуществляли процесс брожения в биореакторе с гидрозатвором при 30°C, в течение 3-х сут.

В процессе брожения регистрировали каждые 24 ч оптическую плотность  $D_{600 \text{ нм}}$ , pH, количество спирта в отобранных образцах и уровень тепловыделения клеток. Концентрацию спирта в процессе спиртового брожения определяли рефрактометрическим методом, предварительно построив калибровочную зависимость показателя преломления света от содержания спирта в диапазоне 0–20%.

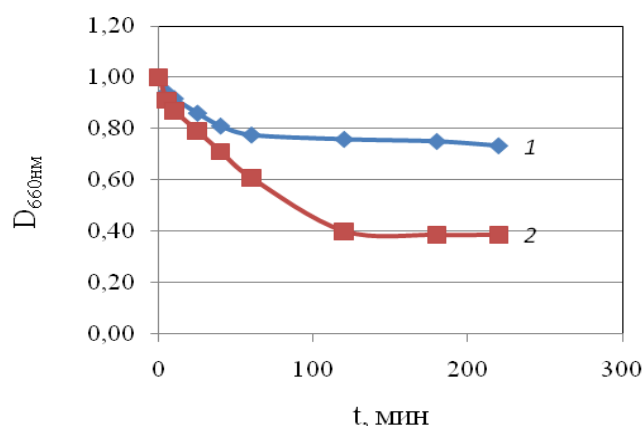
В таблице приведена характеристика свойств клеток пивных дрожжей, выделенных из «живого» пива.

**Таблица – Характеристика морфологических и биохимических свойств штамма клеток дрожжей, выделенных из «живого» пива**

Признаки	Морфологические характеристики	Способность сбраживать углеводы	
		Углевод	Результат
Поверхность колоний	Блестящая, бугристая	Глюкоза	+
Форма колоний	Выпуклые, с волнистым краем	Фруктоза	+
Цвет колоний	Розовый	Галактоза	+/-
Размер клеток	4 x 6 мкм	Мальтоза	+/-
Наличие мицелия	Отсутствует	Сахароза	+
Аскоспоры	1 – 4	Лактоза	+
Термоустойчивость	Выживают при 50°C обработке	Раффиноза	+

В соответствии с морфологическими и биохимическими свойствами различных видов дрожжей [3–5], выделенный штамм клеток может быть отнесен к молочным дрожжам *Kluyveromyces marxianus* или *Kluyveromyces lactis*, которые фенотипически схожи.

На рисунке приведен анализ редуктазной активности выделенных клеток дрожжей и молочнокислых бактерий.



**Рисунок – Кинетика обесцвечивания МС микроорганизмами в молочной сыворотке: 1 – клетки дрожжей; 2 – клетки молочнокислых бактерий**



Редуктазная активность дрожжевых клеток была в 2 раза ниже, чем молочнокислых бактерий, но позволяла наблюдать их окислительно-восстановительные свойства.

В результате проведенной работы предложен экспресс-метод оценки редуктазной активности дрожжевых клеток, а также установлено, что выделенный штамм дрожжей из «живого пива» хорошо сбраживает лактозу до этилового спирта. Коэффициент преобразования лактозы молочной сыворотки в этанол, выделенными клетками дрожжей, составил 95%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Querol A., Fleet G. Yeasts in Food and Beverages // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – 208 p.
2. Жвирблянская А.Ю., Исаева В.С. Дрожжи в пивоварении. М.; Пищевая промышленность, 1979. – 246 с.
3. Голубев В.И., Голубев Н.В. Отбор и характеристика дрожжей активно сбраживающих лактозу // Прикладная биохимия и микробиология, 2004. Т. 40. № 3. С. 332–336.
4. Бабьева И.П., Голубев В. И. Методы выделения и идентификации дрожжей. М.: Пищевая пром-сть, 1979. – 120 с.
5. Barnett J.A., Payne R.W., Yarrow D. Yeasts: Characteristics and Identification. Cambridge: Univ. Press, 2000. – 1139 p.

УДК 637.146:616.34

Студ. Е.Ю. Марченкова  
Науч. рук. доц. А.В. Игнатенко  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

#### **БИОТЕСТИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННОГО СРЕДСТВА «ЛАКТРИОЛ»**

Лекарственное средство производства ООО «Рубикон» «Лактриол», выпускающееся в форме суппозитория, является пробиотическим препаратом, который назначается для нормализации микробиоценоза в комплексной терапии неспецифических воспалительных процессов влагалища. В состав препарата входят антагонистически активные живые ацидофильные штаммы бактерий *L. acidophilus* 100аш, КЗШ24 и NK1, лактоза моногидрат, макрагола цетостеариловый эфир, жир. В таблице приведены показатели качества лекарственного средства и методы их контроля.

**Таблица – Показатели качества лекарственного средства  
«Лактриол» и методы их определения**

Название показателя	Метод испытания	Ссылка на документ
Подлинность	«Определение специфической активности пробиотиков»	ОФС.1.7.2.0009.15
Температура и время плавления или время полной деформации (для суппозиторий)	«Температура плавления» или «Определение времени полной деформации суппозиторий на липофильной основе»	ОФС.1.2.1.0012.15; ОФС.1.4.2.0010.15
рН	«Ионометрия»	ОФС.1.2.1.0004.15
Средняя масса и отклонения от средней массы	«Однородность массы дозированных лекарственных форм»	ОФС.1.4.2.0009.15
Специфическая безвредность	«Безопасность пробиотиков в тестах in vivo»	ОФС.1.7.2.0001.15
Отсутствие посторонних микроорганизмов и грибов	«Микробиологическая чистота»	ОФС.1.2.4.0002.15
Специфическая активность	«Определение специфической активности пробиотиков»	ОФС.1.7.2.0009.15
Производственные штаммы и штаммы для контроля	«Производственные пробиотические штаммы и штаммы для контроля пробиотиков»	ОФС.1.7.2.0012.15
Упаковка и маркировка	«Иммунобиологические лекарственные средства»	ОФС.1.8.1.0002.15
Хранение	«Иммунобиологические лекарственные средства»	ОФС.1.8.1.0002.15

Одной из основных проблем производства пробиотических лекарственных средств является контроль их биологической активности, зависящей от численности живых клеток и их жизнеспособности. Целью данной работы была разработка экспресс-метода определения содержания живых клеток и их биологической активности в суппозитории «Лактриол».

В настоящее время основной контроль содержания микроорганизмов в пробиотических препаратах проводится в соответствии с [1]. Существенными недостатками данного метода является длительность, трудоемкость анализа и невозможность точного определения содержания живых клеток в процессе хранения препаратов в форме суппозиторий. В данной работе предложен биокалориметрический экспресс-метод контроля содержания и активности пробиотического средства «Лактриол». Как известно,

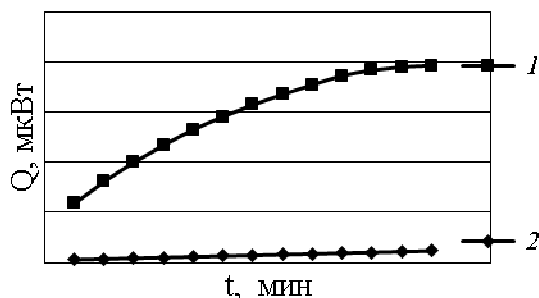
биокалориметрия является одним из современных инструментальных методов микробиологического контроля, работающих как в жидких, твердых, так и вязких средах [2].

В работе было использовано лекарственное средство «Лактриол» производства ООО «Рубикон». Тепловыделение препарата в составе суппозитория регистрировали на микрокалориметре МКМ-Ц при температуре 30°C [2].

Для определения мощности тепловыделения клеток бактерий вначале записывали базовую линию прибора на 2-х образцах суппозитория с подавленной активностью микроорганизмов. Для этого навески препарата помещали в разборную ячейку микрокалориметра, плавил при температуре 37°C в термостате, нагревали при 100°C в течение 5 минут для подавления активности клеток. Затем ячейки охлаждали до 30°C, помещали в микрокалориметр и записывали базовую линию прибора. Далее одну из проб заменяли на аналогично приготовленную пробу с живыми клетками без термообработки и регистрировали их тепловыделение в течение 30 мин. На рисунке приведена кинетика изменения мощности тепловыделения клеток *Lactobacillus acidophilus* в препарате «Лактриол» и выхода микрокалориметра на стационарный режим измерений. Как видно из полученных данных, микрокалориметр выходит на стационарный режим измерения с препаратом «Лактриол» в течение 25–30 мин.

Общий уровень стационарного значения тепловыделения образца, содержащего  $10^8$  клеток пробиотика на грамм препарата составил 400 мкВт/г. С учетом изменения базовой линии микрокалориметра физиологическая активность клеток бактерий *Lactobacillus acidophilus* в препарате составила  $3,5 \pm 0,5$  мкВт/млн. клеток.

Препарат «Лактриол» считается биологически активным, если содержит не менее  $10^7$  КОЕ на один суппозиторий.



**Рисунок – Кинетика тепловыделения клеток бактерий *Lactobacillus acidophilus* суппозитория «Лактриол» (1) и изменения базовой линии микрокалориметра (2)**

Регистрируя стационарное значение мощности тепловыделения клеток, и зная значение физиологической активности клеток, можно в течение 30 мин оценить содержание жизнеспособных клеток пробиотика в образцах суппозитория «Лактриол».

Предложенный биокалориметрический метод позволяет сократить длительность анализа содержания живых клеток бактерий *Lactobacillus acidophilus* с 3-х суток до 30 минут, а также быстро оценить их биологическую активность в препарате «Лактриол» в форме суппозиториев. Это дает возможность значительно снизить трудозатраты при контроле пробиотического препарата и точно определять активность препарата и прогнозировать сроки его годности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ОФС.1.7.2.0009.15 «Определение специфической активности пробиотиков».
2. Игнатенко, А. В. Микробиологические, органолептические и визуальные методы контроля качества пищевых товаров. Микрокалориметрия / А. В. Игнатенко, Н. В. Гриц. Минск: БГТУ, 2003. – 114 с.

УДК 628.356+574.64

Студ. А.А. Стульская  
Науч. рук. доц. А.В. Игнатенко  
(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ)

#### **РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ СТОЧНЫХ ВОД ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

Токсичность является одним из основных показателей экологической безопасности водных сред и оценки эффективности работы очистных сооружений [1]. Среди опасных загрязнителей в сточных водах присутствуют трудноразрушаемые органические вещества (нефтепродукты, пестициды, дезинфицирующие вещества, неорганические загрязнители и др.), а также обнаруживаются супертоксиканты [2]. Наиболее часто встречаемыми загрязнителями сточных вод являются тяжелые металлы (ТМ), которые оказывают токсичное действие на микроорганизмы активного ила. Содержание отдельных ТМ на входе городской очистной станции колеблется от 1 до 10 ПДК, а в условиях залповых выбросов может достигать 100 ПДК и более [3].

Для наблюдения присутствия тяжелых металлов в сточных водах обычно используются длительные, трудоемкие и дорогостоящие химические, физико-химические и физические методы анализа.

Биотестирование может быть хорошей альтернативой данным методам и одним из простейших и эффективных способов оценки токсичности сточных вод [4]. Вместе с тем, общим недостатком методов биотестирования является их неселективность к природе токсичных веществ.

Целью работы была разработка селективного экспресс-метода оценки уровня загрязнённости сточных вод тяжелыми металлами по подвижности клеток.

Для повышения селективности метода биотестирования подвижности клеток предлагается использовать комплексон ЭДТА, позволяющий селективно связывать ТМ и снижать уровень их токсичности. Основными задачами работы были проверить токсичность самого комплексона ЭДТА и его комплексов  $\text{Co}^{2+}$ -ЭДТА и  $\text{Cr}^{6+}$ -ЭДТА для тест-культуры клеток, а также оценить влияние последовательности применения ЭДТА на индекс токсичности сточных вод. В работе использовали сточные воды ОАО «Амкодор», искусственно загрязненные солями тяжелых металлов  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  в концентрациях  $10^{-6}$  –  $10^{-1}$  М. Концентрации комплексона ЭДТА выбирали в диапазоне  $10^{-6}$  –  $10^{-2}$  М, поскольку при концентрациях выше  $5 \cdot 10^{-2}$  М комплексон сам проявлял токсичное действие по отношению к тест-культуре. В качестве тест-объекта служили клетки микроводоросли *E. gracilis* из коллекции кафедры биотехнологии и биоэкологии БГТУ. Клетки культивировали в течение 3-х суток на питательной среде Лозино-Лозинского. Индекс токсичности (ИТ) образцов определяли по изменению подвижности клеток *E. gracilis* в соответствии с [5].

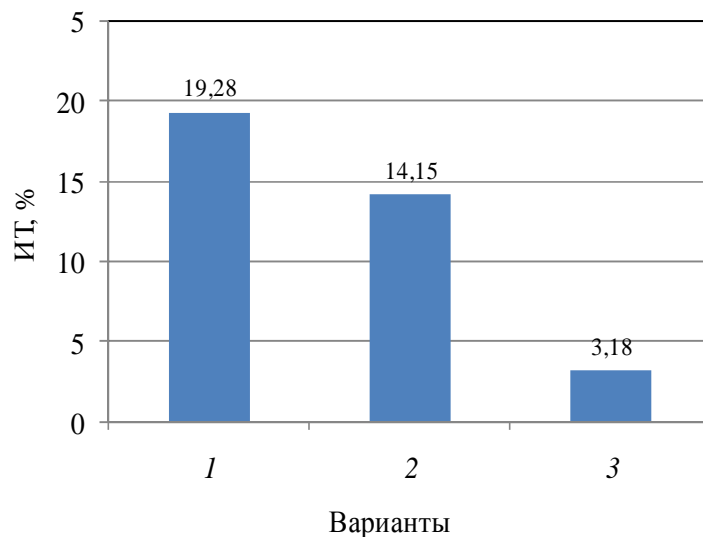
На рисунке 1 показано влияние последовательности введения ЭДТА и  $\text{Co}^{2+}$  на индекс токсичности сточных вод.

Как следует из рисунка 1, последовательность введения ЭДТА и тяжелого металла оказывает существенное влияние на индекс токсичности сточных вод. Максимальное защитное действие ЭДТА проявляется при заблаговременном внесении комплексона (рисунок 1 (3)).

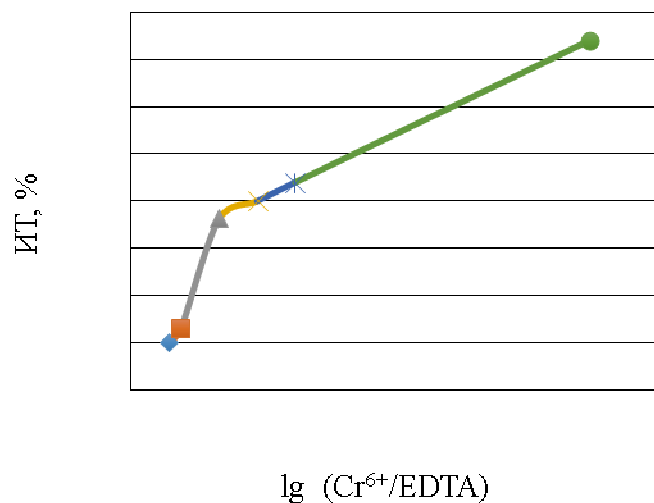
На рисунке 2 приведены результаты анализа влияния ионов  $\text{Cr}^{6+}$  на индекс токсичности сточных вод в зависимости от логарифма соотношения концентраций ТМ / ЭДТА.

Из рисунка 2 видно, что увеличение концентрации ЭДТА при постоянной концентрации ионов  $\text{Cr}^{6+}$  снижает индекс токсичности сточных вод ОАО «Амкодор».

Образующиеся комплексы  $\text{Co}^{2+}$ -ЭДТА и  $\text{Cr}^{6+}$ -ЭДТА не являются токсичными для клеток *E. gracilis* при используемых концентрациях.



**Рисунок 1 – Влияние последовательности введения ЭДТА ( $10^{-3}\text{M}$ ) и  $\text{Co}^{2+}$  ( $10^{-3}\text{M}$ ) на индекс токсичности сточных вод:  
1 – без ЭДТА; 2 – ТМ / ЭДТА; 3 – ЭДТА / ТМ**



**Рисунок 2 – Изменение индекса токсичности ионов  $\text{Cr}^{6+}$  в сточных водах ОАО «Амкор» от соотношения концентраций  $\text{Cr}^{6+}$  / ЭДТА в полулогарифмических координатах**

Таким образом, проведенные исследования показали, что ЭДТА и комплексы изученных тяжелых металлов  $\text{Co}^{2+}$ -ЭДТА и  $\text{Cr}^{6+}$ -ЭДТА

не токсичны для тест-культуры клеток *E. gracilis* в концентрациях до  $5 \cdot 10^{-2}$  М. Комплексон ЭДТА защищает клетки *E. gracilis* от токсичного действия тяжелых металлов.

Комбинированный метод биотестирования и комплексометрии может быть использован для идентификации присутствия тяжелых металлов в сточных водах среди других токсикантов. Это позволяет быстро оценить уровень загрязненности сточных вод тяжелыми металлами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прикладная экобиотехнология: учеб. пособие: в 2 т. / А. Е. Кузнецов [и др.]. М.: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2010. – Т. 1. – 629 с. Т. 2. – 485 с.
2. Майстренко В. Н., Хамитов Р. З., Будников Г. К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М.: Химия, 1996. –319 с.
3. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М.:АКВАРОС, 2003. – 512 с.
4. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / под ред. О. П. Мелеховой, Е. И. Егоровой. М.: Издат. центр «Академия». 2010. –288 с.
5. Сазановец М. А., Игнатенко А. В. Анализ детоксикации водных сред методом биотестирования // Труды БГТУ. 2014. № 4: Химия, технология орган. в-в и биотехнология. С. 179–182.

УДК 542.61:547.9:663.543

Студ. В.А. Лось

Науч. рук. доц. О.В. Стасевич

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **ЭКСТРАКЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРУЛОВОЙ КИСЛОТЫ В ОТХОДАХ ПЕРЕРАБОТКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

Феруловая кислота (ФК) является природным фенилпропановым соединением, обладающим широким спектром биологической активности: антиоксидантной, противоопухолевой и антимикробной. Благодаря вышеперечисленным свойствам феруловая кислота может быть использована в качестве основы при создании лекарственных, профилактических и косметических средств. Ранее нами было показано, что феруловая кислота содержится в свекловичном жоме в концентрации 0,2% мас., и таким образом его можно использовать в качестве сырья для выделения данного соединения. При этом для извлечения феруловой кислоты в качестве растворителя использовали этилацетат, что значительно повышало себестоимость выделяемого вещества [1].

Целью работы является выделение феруловой кислоты из отходов переработки сахарной свеклы различными методами экстракции с применением 50% водного этанола в качестве экстрагента.

Этанол был выбран из-за его низкой, в сравнении с этилацетатом, стоимости и хорошей растворяющей способностью фенилпропановых соединений. Объектом исследования являлись образцы свекловичного жома, предоставленные ОАО «Городейский сахарный комбинат».

Процесс выделения феруловой кислоты из мокрого свекловичного жома включал в себя следующие стадии:

- 1) высушивание растительного сырья при температуре, не превышающей 50°C;
- 2) разделение сырья на пять проб массой 2 г;
- 3) проведение щелочного гидролиза растительного сырья в течение 24 ч (4 н NaOH);
- 4) проведение кислотного гидролиза полученной суспензии растительного сырья в течение 3 ч (конц. HCl, pH = 2);
- 5) нейтрализация полученной суспензии растительного сырья (NaOH, pH = 7);
- 6) экстракция феруловой кислоты из полученной суспензии;



7) отделение растительного сырья от жидкой фазы фильтрованием;

8) упаривание жидкой фазы на роторном испарителе при пониженном давлении при температуре, не превышающей 50°C.

Экстракцию феруловой кислоты из гидролизованного сырья осуществляли 50% этанолом. К полученной после гидролиза суспензии добавляли этанол в соотношении 1:1, что и привело к получению экстрагирующей смеси нужного состава. Далее пробы были подвергнуты разным способам экстракции:

1) мацерации в течение 22,5 ч при комнатной температуре в защищенном от света месте;

2) экстракции ультразвуком в течение 1 ч при комнатной температуре (ультразвуковая ванна UM-4 «Unitra-Unima», Olsztyn, Польша, частота 25 КГц);

3) экстракции на водяной бане в течение 1 ч при температуре 50°C;

4) экстракции при воздействии микроволновой энергии мощностью 300 Вт в течение 5 мин (микроволновая печь «Samsung ME731KR», Samsung Electronics Co., Ltd, Корея);

5) экстракции при воздействии микроволновой энергии мощностью 100 Вт в течение 10 мин (микроволновая печь «Samsung ME731KR», Samsung Electronics Co., Ltd, Корея).

Качественная оценка содержания ФК в полученных экстрактах была осуществлена методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) [1]. Идентификацию соединений осуществляли путем сравнения окраски пятна и показателя  $R_f$  с окраской и показателем стандартного образца ФК (Sigma, США). Результаты ТСХ-анализа показали присутствие феруловой кислоты во всех образцах.

Количественный анализ содержания ФК в полученных экстрактах проводили на хроматографе «Waters» с масс-спектрометрическим детектором на колонке с обращенно-фазным силикагелем C18 Symmetry 250 × 4,6 мм [1].

Идентификацию ФК осуществляли по времени удерживания  $t_R = 21,1$  мин, которое совпадало со временем удерживания стандартного образца феруловой кислоты (Sigma, США), а также по УФ и масс-спектру в области положительных ионов, в котором наблюдался сигнал с  $m/z = 195,55$ , соответствующий молекулярному иону  $[M + H]^+$ , то есть феруловой кислоте. Количественное определение ФК осуществляли методом абсолютной калибровки при помощи графика, построенного по стандартным растворам ФК с концентрациями 0, 148, 528, 756, 1016 мкг/мл. Уравнение прямой при этом имело вид  $y =$

$209306x + 2 \times 10^7$ , коэффициент корреляции ( $R^2$ ) равнялся 0,9786. Результаты количественной оценки представлены в таблице.

**Таблица – Количественные характеристики способов экстракции феруловой кислоты из свекловичного жома**

Способ экстракции	Количество ФК, найденное по калибровочному графику, мкг/мл	Содержание ФК в сухом жмыхе, % мас.
1	599,8423	0,1868
2	44,7163	0,0139
3	603,6516	0,1898
4	668,6635	0,2092
5	59,7341	0,0188

Как видно из таблицы, экстракция при воздействии микроволновой энергии мощностью 100 Вт позволяет получать экстракт с наибольшим содержанием в нем ФК в пересчете на сухой жмых. Наименьшее содержание ФК достигалось при использовании ультразвуковой бани и микроволновой энергии мощностью 300 Вт, что возможно связано с разрушением этого вещества под действием этих условий. Остальные способы экстракции дают возможность также получать экстракт с тем же содержанием, что и при экстракции этилацетатом.

Таким образом, было выявлено, что экстракция ФК из свекловичного жома 50% водным этанолом при использовании микроволновой энергии мощностью 100 Вт наиболее эффективна и дает возможность получать экстракт с содержанием ФК 0,2092% мас. в пересчете на сухой жмых. Способы экстракции мацерацией и на водяной бане дают также удовлетворительные результаты, сопоставимые с результатами экстракции этилацетатом, и могут быть использованы при разработке технологии выделения феруловой кислоты из свекловичного жома. Этанольные экстракты будут иметь меньшую себестоимость и будут хорошо растворимы в пропиленгликоле и бутиленгликоле, которые широко используют в косметической промышленности в качестве растворителей в косметических средствах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнительный анализ жидкостной и сверхкритической флюидной экстракции феруловой кислоты из свекловичного жома / [Н.В. Брушко и др.] // Труды БГТУ. – 2018. – № 1, серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология – С. 31–34.

УДК 665.333.4:665.328

Студ. М.И. Леснева, студ. Ю.С. Война, студ. В.О. Мартинчик  
Науч. рук. ст. преп. А.Н. Никитенко, доц. С.А. Ламоткин  
(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **СОСТАВЛЕНИЕ КУПАЖЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОМЕГА-6-НЕНАСЫЩЕННЫХ, ОМЕГА-3-НЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ**

Растительные масла, жиры и жировые продукты являются важнейшими компонентами пищевого рациона человека, на их долю приходится до 30–35% потребляемой энергии. В течение ряда лет жиры рассматривались, главным образом, как основной поставщик энергии, вещества, придающие пище необходимую консистенцию, улучшающие ее вкусовые свойства.

В 20 в. доказана роль полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) как эссенциальных факторов в питании человека, включая незаменимые кислоты, которые не синтезируются в организме, а поступают только с пищей. Незаменимые жирные кислоты регулируют важные процессы жизнедеятельности организма и участвуют в профилактике атеросклероза, сердечно-сосудистых заболеваний и нарушений мозгового кровообращения [1].

На ряду с ПНЖК растительные масла являются источником фосфатидов (лецитина, который регулирует содержание холестерина в организме и способствует накоплению белков), стероидов (тормозят всасывание холестерина из кишечника), витаминов группы E [2].

Человек может синтезировать ПНЖК ряда олеиновой кислоты ( $\omega$ -9) путём комбинирования реакций элонгации (удлинения) и десатурации (образования ненасыщенных связей): клетки могут синтезировать 5,8,11-эйкозатриеновую кислоту ( $C_{20:3}$ ,  $\omega$ -9).

Среди ненасыщенных жирных кислот в организме не могут синтезироваться  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 жирные кислоты в связи с отсутствием ферментной системы, которая могла бы катализировать образование двойной связи в положении  $\omega$ -6 или любом другом положении, близко расположенном к  $\omega$ -концу. Так, в организме не могут синтезироваться линолевая кислота и  $\alpha$ -линоленовая кислота. Они относятся к незаменимым жирным кислотам и должны поступать с пищей.

Линолевая кислота ( $C_{18:2}$ ,  $\omega$ -6) в организме может превращаться в арахидоновую кислоту ( $C_{20:4}$ ,  $\omega$ -6). Арахидоновая кислота (АК) является незаменимой в организме только при недостатке линолевой кислоты.

Одной из наиболее важных ПНЖК класса  $\omega$ -3 являются  $\alpha$ -линоленовая кислота ( $C_{18:3}$ ,  $\omega$ -3), из которой в клетках могут

синтезироваться длинноцепочечные ПНЖК  $\omega$ -3: эйкозапентаеновая кислота ( $C_{20:5}$ ,  $\omega$ -3) и докозагексаеновая кислота ( $C_{22:6}$ ,  $\omega$ -3). Возможности синтеза этих кислот в организме человека весьма ограничены, поэтому они должны поступать из экзогенных источников. При старении организма и некоторых болезнях способность синтезировать докозагексаеновую кислоту и эйкозапентаеновую кислоту полностью утрачивается.

Эффективность синтеза ПНЖК в организме человека составляет около 5 %, при этом скорость процесса у женщин более высока, чем у мужчин. Необходимо также учитывать, что реакции удлинения цепи и десатурации  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 жирных кислот катализируются одними и теми же ферментами, а жирные кислоты конкурируют в этих реакциях за ферменты. Поэтому избыток жирных кислот одного семейства, например, арахидоновой кислоты ( $C_{20:4}$ ,  $\omega$ -6), будет подавлять синтез соответствующей кислоты другого семейства, например, эйкозапентаеновой ( $C_{20:5}$ ,  $\omega$ -3). Этот эффект подчёркивает важность сбалансированного состава ПНЖК  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 в пищевом рационе [3].

В соответствии с формулой рационального жирнокислотного состава физиологически полноценного пищевого жира, в нем должны содержаться насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты в соотношении 1:1:1. В диете современного человека соотношение  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 находится в диапазоне 10:1–25:1. Всемирная организация здравоохранения рекомендует придерживаться пропорции  $\omega$ -6: $\omega$ -3 от 4:1 до 10:1 (без хронических заболеваний).

Основными источниками ПНЖК являются кукурузное, рыжиковое, подсолнечное, соевое, льняное, рапсовое, тыквенное и др. Индивидуальные растительные масла не обеспечивают рекомендованное специалистами соотношение  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 жирных кислот. Важным также является обеспечение устойчивости технологических свойств масел.

Исходя из ранее установленного жирнокислотного состава масел, были составлены купажи растительных масел: кукурузно-рыжиковый, кукурузно-льняной, подсолнечно-рыжиковый, тыквенно-льняной, тыквенно-рыжиковый. При расчете купажей основывались на сведениях о потребительских предпочтениях, жирнокислотном составе. Исходным являлось соотношение линолевой и  $\alpha$ -линоленовой кислот в купажированной системе, а выходными данными – процентное соотношение растительных масел в купаже. Методика обработки данных основывалась на решении системы уравнений с двумя или несколькими неизвестными. Для расчета составов многокомпонентных купажей масел использовали методику,

учитывающую требуемое соотношение линолевой и  $\alpha$ -линоленовой кислот, а также исходное содержание данных кислот в маслах. При составлении двухкомпонентного купажа расчет проводили, решая систему уравнений [1]:

$$\begin{cases} \frac{m_A \cdot C_{A1} + m_B \cdot C_{B1}}{m_A \cdot C_{A2} + m_B \cdot C_{B2}} = 10 \\ m_A + m_B = 1 \end{cases},$$

где  $m_A$  – масса масла А, г;  $m_B$  – масса масла В, г;  $C_{A1}$  – концентрация линолевой кислоты в масле А, мас.%;  $C_{A2}$  – концентрация  $\alpha$ -линоленовой кислоты в масле А, мас.%;  $C_{B1}$  – концентрация линолевой кислоты в масле В, мас.%;  $C_{B2}$  – концентрация  $\alpha$ -линоленовой кислоты в масле В, мас. %.

Составленные купажи исследовали ГЖХ по ГОСТ 30418. Полученные результаты состава и соотношения жирных кислот показали, что кукурузно-рыжиковый, кукурузно-льняной, подсолнечно-рыжиковый, тыквенно-льняной, тыквенно-рыжиковый купажи соответствовали по соотношению  $\omega$ -6: $\omega$ -3 от 8:1 до 10:1.

Таким образом, применение купажированных растительных масел и функциональных продуктов на их основе является важным элементом сбалансированного, здорового питания, предупреждения, ранней коррекции и профилактики ряда заболеваний, связанных с работой иммунной системы, головного мозга, органа зрения, половых желез, почек, кожи, кровеносных сосудов, мускулатуры бронхов, атеросклероза, коронарной болезни сердца, артериальной гипертонии, ожирения, хронических воспалительных заболеваний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жировые продукты для здорового питания. Современный взгляд / Л. Г. Ипатова [и др.]. – М.: ДеЛи Принт, 2009. – 396 с.
2. Пищевая химия / А.П. Нечаев [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2001. – 592 с.
3. Das U. N. Essential fatty acids and their metabolites could function as endogenous HMG-CoA reductase and ACE enzyme inhibitors, anti-arrhythmic, anti-hypertensive, anti-atherosclerotic, anti-inflammatory, cytoprotective, and cardioprotective molecules / Das U.N. // *Lipids Health Dis.* 2008 Oct 15; 7: 37. doi: 10.1186/1476-511X-7-37.

УДК 665.333.4:665.328

Студ. В.О. Мартинчик, студ. М.И. Леснева, студ. А.В. Стрибуть  
Науч. рук. ст. преп. А.Н. Никитенко, доц. С.А. Ламоткин  
(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА КУПАЖЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ТЕРМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ**

Растительные масла – это жиры, извлекаемые из различных частей растений и состоящие в основном (95–97%) из триглицеридов высших жирных кислот. Растительные масла – ценный источник моно- и полиненасыщенных жирных кислот, важных для физиологии человека.

Согласно Санитарных норм и правил «Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь» рекомендуемое содержание жиров растительного происхождения в рационе питания – 25–30% от общего количества потребляемых жиров [1]. Таким образом, растительные масла должны быть незаменимой частью дневного рациона любого человека.

Наличие в растительных маслах ненасыщенных жирных кислотах с двойными связями делает их высоко реакционноспособными, особенно в отношении кислорода. Ряд литературных данных указывает на интенсивное протекание данного процесса при нагревании различных растительных масел [2].

Купажирование растительных масел позволяет получить продукты со сбалансированным составом по содержанию омега-6-ненасыщенных, омега-3-ненасыщенных жирных кислот. Такие купажи масел перспективно использовать для производства различных продуктов на их основе (майонезов, соусов на основе растительных масел и ряд других). Наряду с этим применение растительных масел для изготовления различных пищевых продуктов требует наличия результатов исследований процесса окисления купажей под воздействием температуры и кислорода воздуха.

Поэтому, целью данной работы являлось исследовать термическое исследование купажей растительных масел со сбалансированным жирнокислотным составом при нагревании (температура 100 °С).

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– изучить жирнокислотный состав купажей растительных масел,

– исследовать термическое окисление по изменению показателей качества и содержания жирных кислот в купажах растительных масел.

В качестве базовых для составления купажей были использованы наиболее распространенные в Республике Беларусь масла. Также применялись масла с высоким содержанием  $\alpha$ -линоленовой и линолевой кислот: льняное (одно из наиболее ценных диетических продуктов); рыжиковое (источник высокого содержания полиненасыщенных жирных кислот); кукурузное и тыквенное.

Основываясь на результатах исследований содержания жирных кислот растительных масел были составлены кукурузно-рыжиковый, кукурузно-льняной, подсолнечно-рыжиковый, тыквенно-льняной и тыквенно-рыжиковый купажи. Исследование термоокисления купажей проводили при температуре 100°C с доступом кислорода и в инертной среде (азот) в течение нескольких часов. Изменение качества купажей растительных масел изучали, основываясь на значениях показателей кислотного и перекисного чисел. Определение кислотного числа купажей растительных масел проводили титриметрическим методом по ГОСТ 5476. Перекисное число купажей растительных масел изучали титриметрическим методом по СТБ ГОСТ Р 51487.

Изменение состава и содержания ПНЖК в исследуемых образцах проводили методом ГЖХ по ГОСТ 30418. Приготовление метиловых эфиров жирных кислот выполняли по ГОСТ 31665. Исследования проводили на приборе «Хроматэк Кристалл 5000», оснащенном ПИД детектором, кварцевой капиллярной колонкой длиной – 100 м, диаметром – 0,25 мм, с нанесенной фазой – цианопропилфенилполисилоксан, газ-носитель – азот, объем вводимой пробы – 1 мкл. Начальная температура термостата колонок – 140°C в течении 4 мин, затем программированный подъем температуры со скоростью 3 °C/мин до 180°C – изотермический режим в течение 40 мин. Программированный подъем температуры со скоростью 3 °C/мин до 240°C – изотермический режим – 25 мин.

Идентификацию компонентов проводили с использованием эталонных смесей жирных кислот Restek 35077 и Restek 35079, а также по индексам удерживания на основе литературных данных. Количественное определение жирных кислот в исследуемых образцах проводили методом внутренней нормализации с использованием программного обеспечения Unichrome®.

В результате проведенных исследований установлено, что нагревание в инертной среде в течение шести-восьми часов приводило

к увеличению перекисного числа на 6–80%. Наиболее интенсивно рост перекисного числа наблюдался у тыквенно-льняного купажа, а наиболее стабильными были тыквенно-рыжиковый и кукурузно-льняной купажи (рост перекисного числа на 6 и 14% соответственно). Для всех рассмотренных купажей наиболее интенсивно образование первичных продуктов окисления протекало после нагревания в течение шести часов.

Присутствие кислорода воздуха приводило к более интенсивному увеличению перекисного числа (на 20–300%), наиболее интенсивно для тыквенно-льняного купажа. Самым стабильным по показателю перекисное число был кукурузно-льняной купаж, изменение значений которого под действием температуры практически не отличались от результатов, нагревания купажа в инертной среде.

Нагревание купажей в течение восьми часов также приводило к увеличению кислотного числа, как в инертной среде, так и в присутствии кислорода воздуха. В присутствии кислорода воздуха рост кислотного числа был более интенсивным: в инертной среде – на 2–75%, в присутствии кислорода воздуха – на 25–105%.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы. Нагрев в инертной среде азота ведет к замедлению процессов термоокисления купажей растительных масел. Продолжительность нагрева купажей растительных масел не должна превышать шести часов, так как после этого периода наблюдается резкий подъем содержания первичных и вторичных продуктов окисления, а значения показателей перекисного и кислотного чисел стремительно приближаются к предельно допустимым.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь: Санитарные нормы и правила №180, утвержденных постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 20.11.2012.

2. Пищевая химия / А.П. Нечаев [и др]. СПб.: ГИОРД, 2001. – 592 с.



УДК 665.333.4:665.328

Студ. А.В. Стрибуть

Науч. рук. ст. преп. А.Н. Никитенко, доц. С.А. Ламоткин  
(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **СОСТАВЛЕНИЕ КУПАЖЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

В настоящее время продукты «здорового» питания составляют не более 3 % всех известных пищевых продуктов. Прогнозируется, что в ближайшие десятилетия потенциал рынка данных продуктов превысит 30 % всех реализуемых продуктов питания [1].

Биологические свойства масел и жиров обусловлены жирнокислотным составом, а также наличием биологически активных соединений (токоферолов, стеролов, фосфолипидов, каротиноидов). Однако базовым критерием пищевой ценности этих продуктов является состав и содержание жирных кислот. Поэтому одним из этапов в преобразовании традиционного жирового продукта в продукт с повышенной биологической ценностью является изменение состава жировой фазы путем подбора сбалансированной по количеству и соотношению полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) [2, 3].

В соответствии с рекомендациями Института питания РАМН и результатами научных исследований оптимальным соотношением ПНЖК  $\omega$ -6: $\omega$ -3 в рационе здорового человека является (9..10):1 [4]. В случаях патологии липидного обмена рекомендуемое соотношение ПНЖК  $\omega$ -6: $\omega$ -3 составляет 5:1 и даже 3:1. Анализ же результатов мониторинга фактического питания населения свидетельствует о том, что действительное поступление ПНЖК в организм человека составляет от 10:1 до 30:1. Таким образом, существует вероятность постоянного дефицита ПНЖК семейства  $\omega$ -3.

Исследование жирно-кислотного состава природных масел показало, что в природе не существует «идеального» масла с составом, обеспечивающим поступление в организм человека необходимых жирных кислот в нужном количестве и правильном соотношении.

Данная проблема может быть решена путем применения в питании человека купажированных растительных масел с требуемым содержанием и соотношением кислот  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3, а также использования купажированных растительных масел в производстве продуктов питания (для детей, эмульсионных, молочных продуктов).

Для изготовления растительных масел используется порядка 300 масличных растений. Из них широко применяется рапс,

подсолнечник, кукуруза. Особый интерес составляет использование сырья с высокой биологической ценностью: тыквы, лен, рыжик, горчица и др.

Тыквенное масло наряду с привлекательным внешним видом (цвет варьирует от зеленовато-коричневого до красно-коричневого с зеленым оттенком в тонком слое, приятный ореховый запах и вкус с легкой горчинкой) отличается высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, бета-каротина, витамина С, рутина, никотиновой кислоты, калия, магния, кальция, селена.

Льняное масло несмотря на специфический вкус и характерный запах очень богато биологически активными веществами в число которых входят: фитостерины, лецитин, бета-каротин, полиненасыщенные жирные кислоты, оптимальное соотношение которых в масле способно улучшать состояние здоровья, нормализовать жировой обмен, проводить профилактику сердечнососудистых заболеваний, патологий пищеварительной системы и обмена веществ.

Рыжиковое масло характеризуется высоким содержанием витамина Е, соотношением  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 эссенциальных жирных кислот – 2:1. В масле также присутствуют витамины А, Д, F и К, минеральные вещества, хлорофилл, небольшое количество мононенасыщенной олеиновой кислоты ( $\omega$ -9). Органолептические показатели рыжикового масла отличаются присутствием оттенков аромата крестоцветных и горчицы.

Следует отметить, что наличие ПНЖК в растительных маслах не обеспечивает содержание  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 эссенциальных жирных кислот в оптимальном соотношении. Достигнуть такого соотношения возможно при помощи купажирования масел. Дальнейшее применение в питании человека составленных композиций растительных масел невозможно без их тщательного исследования. Поэтому, целью работы было разработать купажи растительных масел на основе нетрадиционного растительного сырья со сбалансированным жирнокислотным составом.

Объектами исследования стали тыквенно-льняной и тыквенно-рыжиковый купажи. При их составлении основывались на результатах проведенных ранее исследований по установлению жирнокислотного состава масел. Состав купажей рассчитывали исходя из соотношения линолевой и  $\alpha$ -линоленовой кислот в системе. Для этого определяли процентное соотношение растительных масел в купаже, основываясь на методике обработки данных представленной в [1].

В составленных купажах изучали:

– органолептические показатели: цвет в проходящем и отраженном свете на белом фоне, вкус при 40 °С, запах при температуре не ниже 50 °С оценивали в соответствии с СТБ ИСО 6564, ГОСТ Р 5496 и ГОСТ ISO 11037;

– физико-химические показатели качества: кислотное число купажей растительных масел определяли титриметрическим методом по ГОСТ 5476, перекисное число – титриметрическим методом по СТБ ГОСТ Р 51487.

– жирнокислотный состав ГЖХ по ГОСТ 30418.

В результате проведенных исследований получены данные о том, что по показателям качества составленные тыквенно-льняной и тыквенно-рыжиковый купажи соответствовали требованиям Технического регламента Евразийского экономического союза ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию».

Результаты испытаний качественного и количественного состава жирных кислот купажей ГЖХ методом указали на соотношение  $\omega$ -6: $\omega$ -3 жирных кислот близкое к оптимальному (10:1).

Следует отметить, что дальнейшее применение составленных купажей для пищевых целей требует тщательного исследования их термической устойчивости и технологических свойств.

Таким образом, использование безопасных купажированных растительных масел и продуктов на их основе надлежащего уровня качества может не только разнообразить пищевой рацион человека, но и стать основой сбалансированного, здорового питания, способного предупредить и скорректировать возникновения ряда заболеваний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жировые продукты для здорового питания. Современный взгляд / Л. Г. Ипатова [и др.]. М.: ДеЛи принт, 2009. – 396 с.
2. Пищевая химия / А.П. Нечаев [и др]. СПб.: ГИОРД, 2001. – 592 с.
3. Биологически активные вещества растительного происхождения. В трех томах. Т. I /Б.Н.Головкин, З.Н.Руденская, И.А.Трофимова, А.И. Шретер. – М: Наука, 2001. – 350 с.
4. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ: МР 2.3.1.2432-08, утвержденных Главным государственным санитарным врачом РФ от 18.02.2008.

УДК 664.34

Студ. П.В. Цуприков, студ. А.А. Казерская

Науч. рук. ст. преп. Дубоделова Е. В.

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **ХИМИКО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА**

Подсолнечное масло – один из массово потребляемых продуктов питания населения, который используется как в нативном виде, так и для приготовления различных блюд. Оно содержит в своем составе смесь разнообразных по составу органических соединений. Вследствие особенностей химического состава подсолнечное масло является нестойким при хранении и термической обработке, что проявляется в первую очередь, в его прогоркании, и, следовательно, приводит к снижению показателей качества и пищевой ценности. Поэтому важной задачей является доведение до потребителя качественной и безопасной продукции. Эту задачу позволяет решить комплексная оценка качества подсолнечного масла, основанная на определении органолептических, физико-химических и микробиологических показателей, в том числе при проведении производственного контроля.

Физико-химические показатели относятся к основным показателям качества и безопасности подсолнечного масла, среди которых следует выделить показатели химической порчи. К данной группе относят показатели окислительной порчи: перекисное, йодное и анизидиновое числа, а также показатели деструктивной порчи: кислотное число и число омыления. При этом не все показатели нормируются действующими ТНПА. Однако их важно оценивать при контроле качества продукта. Так, рассмотрим число омыления, которое характеризует количество миллиграммов едкого калия (КОН), необходимого для нейтрализации свободных и связанных в виде триглицеридов жирных кислот, содержащихся в 1 г продукта [1]. Число омыления позволяет определить содержащиеся в жирах и маслах группы, способные реагировать со щелочью, и, следовательно, позволяет прогнозировать тип глицеридов в объекте. Глицериды, характеризующиеся низкой молекулярной массой, имеют более высокие числа омыления, в сравнении с глицеридами с высокомолекулярной массой. То есть низкие значения числа омыления указывает на присутствие высокомолекулярных жирных кислот или не омыленных веществ. В качестве объекта исследования было выбрано подсолнечное масло высшего сорта, отобранное с рынка случайным образом. Определение числа омыления проводилось в соответствии с

методикой, приведённой [1]. По результатам четырёх измерений было рассчитано среднее значение числа омыления равное 166 мг КОН/г. При этом дисперсия измеряемой величины составила  $0,484 \text{ мг}^2 / \text{кг}^2$ , а среднеквадратичное отклонение – 0,696 мг/г. Рассчитанное значение числа омыления меньше, чем указано в справочных данных. Это свидетельствует о возможном присутствии высокомолекулярных кислот или не омылённых компонентов.

В соответствии с ТР ТС 021 «О безопасности пищевых продуктов» в растительных маслах нормируется содержание токсичных элементов, среди которых большую часть составляют металлы (соединения металлов). Комиссия Кодекс Алиментариус выделяет десять металлов (соединений металлов), содержание которых в пищевых продуктах представляют опасность для здоровья человека. В Республике Беларусь действует ГН «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов», утверждённый постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 21 июня 2013 г. № 52. Он нормирует содержание следующих токсичных элементов: свинца, кадмия, мышьяка, ртути, олова, железа, меди, цинка, никеля и хрома. [2] Нами были проанализированы рекомендованные указанными ТНПА методы определения содержания токсичных элементов в подсолнечном масле. Основопологающим является ГОСТ 1129-2013, который взаимосвязан с ГОСТ 26927, ГОСТ 26930, ГОСТ 26932, ГОСТ 26933, ГОСТ 30178, ГОСТ 30538, ГОСТ 31628. Установлено, что в приведенных стандартах на определение токсичных элементов отсутствует метод инверсионной вольтамперометрии, который, однако, является достаточно перспективным и экспрессным методом контроля, обладающим высокими метрологическими характеристиками. Данный вывод был сделан нами и на основании экспериментальных данных. Был проведен вольтамперометрический анализ с совместным определением содержания четырех элементов: свинец, медь, кадмий и цинк. Среди данных металлов трое указаны как в ТР ТС 021, так и в Постановлении Минздрава № 52 (Pb, Cu, Cd), а четвертый (Zn) только в Постановлении № 52. Результаты определения цинка, кадмия, свинца и меди при их совместном присутствии методом инверсионной вольтамперометрии, а также установленные в ТР ТС 021 допустимые содержания токсичных металлов в подсолнечном масле представлены в таблице 1. Из таблицы 1 видно, что, установленные в техническом регламенте нормы превышены образцом только по меди (на 18,3 %). Также очевидна высокая точность метода в связи с невысокими значениями показателей, характеризующих разброс.

**Таблица 2 – Результаты измерений и допустимые уровни содержания токсичных металлов в масле растительном**

Металл	Максимально допустимое содержание, мг/кг	Полученное значение, мг/кг	Дисперсия, мг <sup>2</sup> /кг <sup>2</sup>	СКО, мг/кг
Pb	0,1	0,0484	$4 \times 10^{-6}$	0,0020
Cu	0,1	0,1183	$2,6 \times 10^{-6}$	0,0016
Cd	0,05	Не обнаружен		
Zn	Не установлено	Не обнаружен		

По нашему мнению, объяснить полученные результаты можно следующим образом. Потенциальными источниками свинца и меди в растительном масле являются: сор (большая часть удаляется на стадии очистки); естественное содержание в семенах; металлические поверхности оборудования и ёмкостей, участвующих в технологических операциях производства масла: шнековый пресс (прессование), осадительная центрифуга (механическая очистка), смеситель, сепаратор (нейтрализация/щелочная рафинация) и др. Естественное содержание в семенах подсолнечника меди составляет 18 мг/кг, свинца – 0,005 мг/кг. Поэтому можно заключить, что подсолнечник, используемый для производства данного подсолнечного масла, вероятно, произрастал в районе с повышенным содержанием данных микроэлементов.

Таким образом, на основании полученных результатов, можно рекомендовать осуществление входного контроля масла-сырца по показателю числа омыления и содержанию токсичных металлов методом инверсионной вольтамперометрии (СТБ ГОСТ Р 51301-99) для дальнейшего управления технологическими операциями. По нашему мнению, производителям следует отдавать предпочтение эмалированному оборудованию и таре; применению более безопасных и чистых сплавов, из которых сделаны детали технологического оборудования, контактирующего с маслом; разработке более мягких режимов химической очистки, а также термической обработки подсолнечного масла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шачек, Т.М. Химико-аналитический контроль промышленных и продовольственных товаров. Лабораторный практикум: учебное пособие / Т.М. Шачек, Л.Ю. Осмоловская, Е.В. Дубоделова. – Минск: БГТУ, 2013. – 210 с.
2. Егорова, З. Е. Оценка соответствия пищевых продуктов: пособие для студентов специальности 1-54 01 03 «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции» / З.Е. Егорова. – Минск: БГТУ, 2015. – 506 с.

УДК 664.34:637.144

Студ. Ю.С. Война, вып. Ю.Ю. Гивойна

Науч. рук. ст. преп. А.Н. Никитенко

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **ИЗУЧЕНИЕ ОБЖАРКИ ЯБЛОЧНЫХ ЧИПСОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЛАХ**

Согласно рекомендаций специалистов в области питания базовый рацион, необходимый для нормальной физиологической активности человека должен включать жировые продукты, 30 % которых приходится на растительные масла. Ценности растительных масел для человека обусловлена не только за счет богатого источника энергии, но и присутствием биологически активных компонентов: ацилглицеринов, фосфолипидов, полиненасыщенных жирных кислот, жирорастворимых витаминов А, В, Е, К, участвующих в различных обменных процессах.

Немаловажная роль принадлежит составу и содержанию жирных кислот, поскольку присутствие ненасыщенных жирных кислот является важным фактором, определяющим эссенциальный свойств продукта [1].

Фруктовые чипсы пользуются большой популярностью среди многих возрастных групп людей. Одним из способов производства фруктовых чипсов является обжарка в растительных маслах [2]. Изготовление обжаренного продукта требует очень пристального внимания к обеспечению безопасности и уровню качества используемых масел.

Поэтому, целью данной работы было исследование растительных масел в процессе жарки яблочных чипсов. Для достижения поставленной цели использовали растительные масла, широко распространенные среди населения Республики Беларусь: рапсовое, подсолнечное. Известно, что использование купажирования растительных масел позволяет улучшать жирнокислотный состав, поэтому в качестве объектов исследования также использовали купажи рапсового и подсолнечного масел в соотношениях: 80:20 %, 70:30 %, 55:45 %. Растительные масла и купажи на их основе были использованы на стадии жарки яблочных пластин при производстве чипсов из яблок. Жарка проводилась при температуре 135–140 °С в течение 1,5 мин при доступе кислорода воздуха.

Качество масел оценивалось по следующим показателям: органолептическим (цвет в проходящем и отраженном свете на белом фоне, вкус при 40 °С, запах при температуре не ниже 50 °С), физико-

химическим (изменению показателя преломления; значениях кислотного и перекисного чисел), а также содержанию жирных кислот, определенных газохроматографическим методом.

Органолептическую оценку масла выполняли, используя оценочную шкалу, приведенную в СТБ 985. Цвет в проходящем и отраженном свете на белом фоне, вкус при 40 °С, запах при температуре не ниже 50 °С оценивали в соответствии с СТБ ИСО 6564–2007 «Органолептический анализ. Методология. Методы профильного анализа флейвора», ГОСТ Р 5496–2005 «Органолептический анализ. Методология обучения испытателей обнаружению и распознаванию запахов» и ГОСТ ISO 11037–2013 «Органолептический анализ. Руководство по оценке цвета пищевых продуктов». Масло, получавшее в результате органолептической оценки менее трех баллов, не считалось непригодным для дальнейшего использования.

Качественная проба на степень термического окисления масла основывалась на измерении показателя преломления в соответствии с ГОСТ 5482–90 (ИСО 6320–85) «Масла растительные. Метод определения показателя преломления (рефракции)». Определение кислотного числа осуществляли по ГОСТ 31933–2012 «Масла растительные. Методы определения кислотного числа», перекисного числа – по СТБ ГОСТ Р 51487–2001 «Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа». Значение кислотного и перекисного чисел в растительных маслах не должны были превышать уровней, установленных в ТР ТС 024 «Технический регламент на масложировую продукцию».

Изменение состава и содержания ПНЖК в исследуемых образцах проводили методом газожидкостной хроматографии по ГОСТ 30418–96 «Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава». Для подготовки метиловых эфиров жирных кислот использовали методику, представленную в ГОСТ 31665–2012 «Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот». Исследования проводили на приборе «Хроматэк Кристалл 5000», оснащенном ПИД детектором, кварцевой капиллярной колонкой длиной – 100 м, диаметром – 0,25 мм, с нанесенной фазой – цианопропилфенилполисилоксан, газ-носитель – азот, объем вводимой пробы – 1 мкл. Начальная температура термостата колонок – 140 °С в течении 4 мин, затем программированный подъем температуры со скоростью 3 °С/мин до 180 °С – изотермический



режим в течение 40 мин. Программированный подъем температуры со скоростью 3 °С/мин до 240°С – изотермический режим – 25 мин.

Идентификацию компонентов проводили с использованием эталонных смесей жирных кислот Restek 35077 и Restek 35079, а также по индексам удерживания на основе литературных данных. Количественное определение жирных кислот в исследуемых образцах проводили методом внутренней нормализации с использованием программного обеспечения Unichrome®.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее близкое к оптимальному соотношение омега-6-ненасыщенных и омега-3-ненасыщенных жирных кислот было в смеси рапсового и подсолнечного масел в соотношении 55:45. Определено, что критерий изменения показателя преломления в процессе жарки не может быть использован для идентификации протекания процессов термического окисления.

В присутствии кислорода воздуха высокие термостабильные свойства при жарке были у рапсового масла, рапсового масла с добавлением подсолнечного в соотношении 80:20. Тогда как подсолнечное масло и купажи рапсового и подсолнечного масел в соотношениях 70:30 % и 55:45 % не соответствовали по показателям кислотное и перекисное числа требованиям Технического регламента ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию» после двух жарок.

Таким образом, исходя из полученных данных об образовании продуктов окисления и содержания эссенциальных жирных кислот, а также результатов проведенных органолептических испытаний для жарки яблочных чипсов рекомендуется применять рапсовое масло с добавлением подсолнечного в соотношении 80:20.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жировые продукты для здорового питания. Современный взгляд / Л. Г. Ипатова [и др.]. М.: ДеЛи принт, 2009. 396 с.
2. Infusion method for vacuum fried fruit leveraging: 0297671 US, SIC A23B 7/022 / V. R. Basker, V. Puppala; applic. № 12/131609; annon. 02.07.2008; publ. 03.12.2009 – P. 6.

УДК 543.552.054.1 : 664.863

Студ. Е.В. Гиль, студ. Е.Г. Механикова

Науч. рук. ст. преп. Е.В. Дубоделова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОКАХ МЕТОДОМ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ**

Токсичные элементы относятся к основным загрязнителям окружающей среды и поэтому подлежат контролю и государственному надзору [1]. В данной работе предметом исследований являются такие элементы, как свинец, кадмий, цинк и медь в соках. Выбор был обусловлен тем, что свинец и кадмий являются высоко опасными веществами (II класс опасности), цинк и медь – умеренно опасными веществами (III класс опасности). Основными источниками поступления в продукты питания рассматриваемой группы токсичных элементов является загрязненная вода и воздух, нарушение правил применения ядохимикатов при внесении удобрений в почвы и несоблюдение требований ведения технологического процесса их производства [2].

Объектами исследований были выбраны яблочные и апельсиновые соки, производимые на территории ЕАЭС. ТР ТС 021 из изучаемых токсичных элементов нормирует содержание свинца в количестве не более 0,4 мг/кг и кадмия – не более 0,03 мг/кг. Однако, СанПиН № 52 и СТБ 1824, действующие на территории РБ ограничивают содержание свинца в количестве не более 0,3 мг/кг, кадмия – не более 0,02 мг/кг, цинка – не более 5 мг/кг, меди – не более 5 мг/кг. Согласно ГОСТ 26931 – 26934 токсичные элементы в продуктах питания рекомендовано определять полярографированием в режиме переменного тока. Полярографический метод анализа дает возможность определять примеси металлов, содержащиеся в образцах в количестве порядка 0,001 %, с точностью в среднем до 1 % [3]. Несмотря на высокие метрологические характеристики данного метода интерпретация полярограмм является длительным процессом, для осуществления которого персонал должен иметь не только соответствующую квалификацию, но и стандартные эталонные образцы анализируемых соединений. При этом рекомендуемый способ пробоподготовки – сухое озоление, среди недостатков которого можно выделить снижение точности определения из-за улетучивания элементов, их адсорбции на тиглях и загрязнения пробы материалом тигля и материалом муфельной печи.

Более перспективным методом анализа токсичных элементов в продуктах питания является инверсионная вольтамперометрия, заключающаяся в предварительном концентрировании определяемого компонента на поверхности индикаторного электрода с последующим электрохимическим растворением концентрата и регистрацией величины тока электрорастворения. Такой способ регистрации вольтамперограммы, позволяющий снизить нижнюю границу определяемых концентраций для органических веществ до  $10^{-10}$ – $10^{-9}$  моль/дм<sup>3</sup>, а для неорганических веществ до  $10^{-11}$  моль/дм<sup>3</sup>, и лежит в основе метода инверсионной вольтамперометрии [4]. Регистрация аналитического сигнала в инверсионной вольтамперометрии включает четыре стадии согласно действующего ГОСТ Р 51301. При этом расшифровка полученной вольтамперограммы осуществляется с использованием компьютерной программы, что значительно ускоряет процесс обработки полученных результатов. При проведении исследований нами были выдержаны общие требования ГОСТ Р 51301 в части пробоподготовки соков с сочетанием мокрого и сухого озоления. Особенностью проведения пробоподготовки является использование программируемой двухкамерной печи ПДП, имеющей закрытую камеру озоления проб и размещенную на ней полузакрытую камеру – плитку для выпаривания проб. Этапы пробоподготовки были нами скорректированы для массы навесок проб соков 5 г (таблица 1).

**Таблица 1 – Этапы проведения пробоподготовки**

№	Операции	Камера	Температура, °С	Время, мин.
1	Высушивание	Выпаривания	150	25
2	Окисление 2,5-3,0 см <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> , растворение и упаривание до 1/3 объема	Выпаривания	250	60
3	Окисление 2,0-2,5 HNO <sub>3</sub> + 1,0-1,5 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Выпаривания	300	70
4	Озоление	Озоления	450	30
5	Окисление 2,0-2,5 HNO <sub>3</sub> + 0,5-1,0 см <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Выпаривания	350	60-70
6	Озоление	Озоления	450	30
7	Повтор операций 5-6 до получения однородной золы белого, серого или рыжеватого цвета			

Полученную на этапе пробоподготовки золу растворяли в азотной кислоте (соотношение воды и концентрированной кислоты составляло 2:3) и упаривали полузакрытой камере печи ПДП до влажных солей. После этого добавляли 10 см<sup>3</sup> бидистиллированной воды и снова

упаривали до влажных солей (процедура проводилась дважды). К полученному остатку добавляли 10 см<sup>3</sup> фонового электролита (был использован раствор, содержащий нитрат калия и ортофосфорную кислоту) и количественно переносили в мерную колбу на 25 см<sup>3</sup> и доводили до метки фоновым электролитом.

В электрохимическую ячейку вносили 10 см<sup>3</sup> фонового электролита и 2 капли раствора ионов ртути (II) и снимали вольтамперную кривую фона. Затем проводили регистрацию вольтамперной кривой пробы, которую вносили в количестве 10 см<sup>3</sup>, отобранной из мерной колбы объемом 25 см<sup>3</sup>. Далее в пробу вносили добавку 0,2 см<sup>3</sup> стандартных растворов определяемых элементов и вновь регистрировали вольтамперограмму. Для каждого образца сока проводилось два параллельных измерения. В таблице 2 приведены усредненные значения полученных результатов.

**Таблица 2 – Результаты испытаний образцов  
восстановленных соков**

Номер образца	Обнаруженные элементы	Содержание металла в образце, мг/л
1	свинец	0,5200±0,0141
2	свинец	0,0028±0,0006
	медь	0,0018±0,0001
3	свинец	1,6000±0,0071
	медь	0,0220±0,0014
4	медь	0,6700±0,0071
5	цинк	0,0550±0,0021

Таким образом, можно рекомендовать метод инверсионной вольтамперометрии для совместного определения свинца, кадмия, меди и цинка к широкому применению в производственном контроле выпускаемых на территории ЕАЭС восстановленных соков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Теплая, Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды / Г. Теплая // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – №1. – С. 182–192.
2. Сульдина, Т.И. Содержание тяжелых металлов в продуктах питания и их влияние на организм / Т. Сульдина // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2016. – № 1. – С. 136 – 140.
3. Крешков, А.П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Количественный анализ / А.П. Крешков ; под ред. Л.Н. Овсянниковой. – 3-е изд. – Ленинград : Химия, 1971. – 456 с.

4. Шачек, Т.М. Химико-аналитический контроль промышленных и продовольственных товаров. Химические и электрохимические методы : тексты лекций // Т.М. Шачек, Е.В. Дубоделова. – Минск, 2012. – 125 с.

УДК 664.346+543.062

Студ. М.В. Лаврусик  
Науч. рук. доц. Н.И. Заяц

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

### **МЕТОДИКА КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЯИЧНЫХ ПРОДУКТОВ В МАЙОНЕЗЕ**

Действующий с 2015 г. ГОСТ 31761 устанавливает ранее не регламентированные требования к содержанию яичной продукции в майонезе. В настоящее время именно этот показатель лежит в основе разделения майонезной продукции на: майонезы – содержание яичных продуктов не менее 1% и майонезные соусы – содержание яичных продуктов менее 1%.

Определение массовой доли яичных продуктов в пересчете на сухой желток осуществляется по ГОСТ 31762 колориметрическим методом по голубому молибденовому комплексу.

При освоении данного метода изготовители майонезов сталкиваются с проблемой точности полученных результатов. Так авторами статьи [1] были проанализированы партии майонеза, полученные в производственных условиях, с точно дозированным количеством сухого яичного желтка. В результате анализа было обнаружено желтка не более 80% (а в некоторых случаях менее 50%) от заложенного по рецептуре.

Целью работы является выявление факторов, влияющих на точность определения яичных продуктов в майонезе.

Объектами испытаний являлись специально приготовленные образцы майонезов с известным содержанием яичных продуктов (1; 1,2; 2 и 3%) и с массовой долей жира от 50 до 67 %. Для приготовления майонезов были использованы два вида сухого яичного желтка и яичный порошок различных производителей.

Методика определения яичных продуктов предусматривает два этапа проведения анализа:

– выделение жировой фазы экстракцией органическими растворителями разной полярности (этанол-хлороформ 2:1) при кипячении;

– определение фосфолипидов в выделенной жировой фазе. Определение основано на образовании фосфорномолибденовой сини и измерении оптической плотности раствора при длине волны 720 нм.

Измерения проводились на фотоэлектроколориметре КФК 2. Массовую концентрацию фосфора находили по градуировочному графику.

При выполнении измерений мы столкнулись со следующей проблемой: при приготовлении градуировочных растворов с массовой концентрацией фосфора от 0,025 до 2 мкг/см<sup>3</sup> полученный молибденовый комплекс был нестабилен и в процессе охлаждения растворы обесцвечивались.

Был проведен анализ возможных причин и выявлены факторы, на которые при реализации методики необходимо обратить внимание:

- все реактивы должны быть химически чистыми;
- лабораторную посуду, используемую для определения фосфорсодержащих веществ, не рекомендуется мыть бытовыми моющими средствами, так как они содержат соединения фосфора;
- следует очень внимательно относиться к установлению реакции среды, т.к при восстановлении в нейтральном растворе молибденовая кислота переходит в окрашенный в голубой цвет оксид молибдена (молибденовая синь). В растворе же определенной степени кислотности оксид молибдена остается бесцветным, но с фосфатами образует ярко-голубое соединение;
- лучше использовать баню, поддерживающую постоянную температуру (термостат), способную вмещать несколько мерных колб вместимостью 100 см<sup>3</sup> каждая, погруженных до метки. Баня должна иметь достаточно большой резервуар или теплоемкость, чтобы сохранять температуру от 82,2 °С до 87,8°С в течение всего периода нагревания образца (если температура горячей водяной бани падает ниже 82,2°С, то проявление цвета в этих условиях не сможет завершиться);
- после водяной бани необходимо быстро охлаждать содержимое колб, (например под струей холодной воды), а после охлаждения колб до комнатной температуры их необходимо оставить на 10 мин при этой температуре.

При определении содержания яичных продуктов в расчетной формуле используется среднее значение фосфора 7,5 мг, извлекаемое из 1 г сухого яичного желтка.

В ходе проведения работы, для уточнения количества фосфора, находящегося в 1 г сухого яичного желтка, был проведен

анализ трех видов использованных для приготовления майонеза яичных продуктов.

Определение липидного фосфора в яичных продуктах проводилось по ГОСТ 32740. Сущность метода заключается в экстрагировании липидов из пробы смесью этиловый спирт-хлороформ, сухой минерализации высушенного экстракта в присутствии щелочи, количественном определении фосфора в подкисленном растворе минерализата колориметрическим методом при измерении оптической плотности окрашенного в желтый цвет молибдат-ванадат-фосфатного комплекса при длине волны 436 нм.

В ходе проведенных исследований были получены следующие результаты содержания липидного фосфора в яичных продуктах: желток яичный – 6,52 мг/г; желток яичный ферментированный – 5,62 мг/г; порошок яичный – 4,96 мг/г. Полученные результаты существенно отличаются от среднего значения, использованного при расчете – 7,5 мг/г.

Результаты определения яичных продуктов в майонезе, полученные по формуле ГОСТ 31762 (1) и рассчитанные с учетом экспериментально найденного количества липидного фосфора в яичных продуктах (2) представлены в таблице. Были рассчитаны отклонения (погрешность) полученных результатов от введенного содержания яичных продуктов в майонезы.

**Таблица – Результаты определения яичных продуктов в майонезе**

Наименование продукции	Массовая доля яичных продуктов, %		Фактическое значение, %	Абсолютная погрешность, %		Относительная погрешность, %	
	1	2		1	2	1	2
Провансаль 50%	0,576	0,769	1	0,424	0,231	42,40	23,10
Городской 1	0,795	1,060	1,2	0,405	0,140	33,75	11,67
Городской 2	0,910	1,048	1,2	0,290	0,152	24,17	12,67
Школьный	1,249	1,667	2,0	0,751	0,333	37,55	16,65
Провансаль	1,833	2,770	3,0	1,167	0,230	38,90	7,67

Таким образом, точность полученных результатов будет выше, если использовать действительное значение содержания фосфора в 1 г сухой яичной продукции, вводимой в майонезы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.Б.Стародумова. Новые методы исследования майонезной продукции – проблемы и предложения / Масложировая индустрия–2010: тезисы докладов 10-й международной конференции, 27-28 октября 2010 г., Санкт-Петербург. – С. 5–7.

УДК 613.21;641.1/3

Студ. Е.Д. Добровольская  
Науч. рук. доц. З.Е. Егорова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

### **ОЦЕНКА НЕДЕЛЬНОГО МЕНЮ СТОЛОВОЙ № 1 БГТУ И РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ**

Столовая №1 находится в четвертом корпусе БГТУ. Она разделена на три части: буфет, студенческий зал, зал преподавателей. Столовая рассчитана на 160 посадочных мест; применяется система самообслуживания. Меню составляется ежедневно. Большинство студентов питается в указанной столовой, поэтому анализ полноценности предлагаемых блюд, а также оценка разнообразия меню представляют практический интерес.

В данной работе приведены результаты исследований состава недельного меню столовой №1 БГТУ и его пищевой ценности, а также результаты изучения контингента студентов, постоянно питающихся в столовой № 1. Оценка разнообразия меню проводилась путем сравнения шести разных раскладок, ежедневно представляемых в столовой. Для расчета пищевой ценности блюд, представленных в меню, были использованы технологические карты и сборники рецептур, которые используются в студенческой столовой №1, а также справочные данные по содержанию белков, жиров и углеводов в продуктах питания [1]. Сбор информации о составе студентов и виде употребляемых ими блюд проводили в течение двух дней непосредственно в столовой №1 методом опроса, при этом фиксировали следующие данные: пол, факультет, курс, частота посещения в неделю, виды употребляемых блюд (первое, второе, салат, сладкое/творожное). В интервью принимали участие 60 студентов 1–5 курсов всех факультетов нашего университета.

Результаты анализа разнообразия недельного меню столовой № 1 показали, что в нем включены такие группы блюд, как холодные закуски, кисломолочные продукты, супы, горячие блюда, гарниры, напитки, сладкие блюда, блюда из творога, мучные и хлебобулочные



изделия, также могут быть добавлены диетические блюда. Количественный состав блюд в основных ассортиментных группах является постоянным, и только в субботу он уменьшен. Наибольшим разнообразием отличаются холодные закуски и горячие блюда (более 9 наименований). Ассортимент гарниров, кисломолочных продуктов, хлебобулочных изделий и сладких блюд ограничен 2–3 видами.

Так как основным приемом пищи в столовой является обед (при рациональном питании в течение обеда человек должен употребить 40% от дневной потребности в энергии [2]), для расчета пищевой и энергетической ценности был случайным образом выбран комплекс блюд, включающий в себя салат, первое, второе и сладкое (таблица).

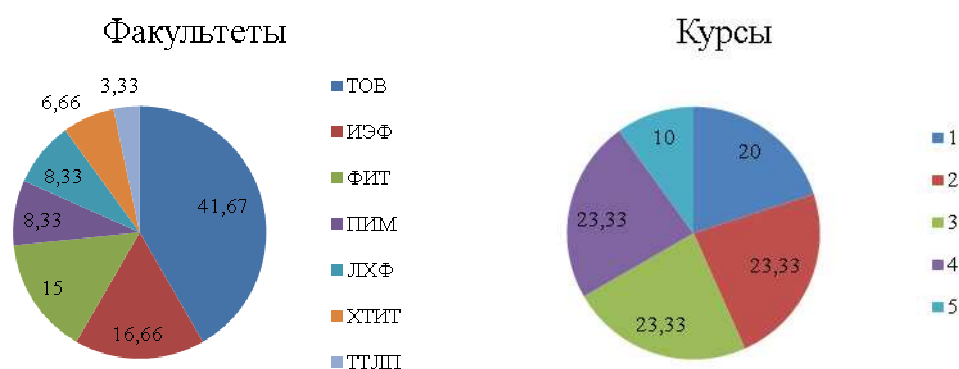
**Таблица – Результаты расчета пищевой ценности обеденного меню**

Блюдо	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г
Салат «Вежа»	5,2	19,73	2,78
Рассольник «Ленинградский»	2	7,5	17,5
Бифштекс «Смак»	16,05	3,42	0,95
Пюре картофельное	3	5,4	21,9
Компот вишневый	0,4	-	33,4
Батон	2,25	0,87	15,27
$\Sigma$	39,548	51,663	76,355

Рассчитанная энергетическая ценность такого обеда составила 955,8 ккал. Учитывая различные потребности в суточном потреблении энергии [3], можно сказать, что при употреблении обеда, составленного из выбранных блюд, парень восполнит 39,01% суточной нормы необходимого потребления энергии, а для девушки это значение составит 47,79%. Однако следует учитывать и соотношение белков, жиров и углеводов. Оптимальное соотношение белков, жиров и углеводов в суточном рационе должно быть следующим: 1:1:4 соответственно [3]. В выбранном обеденном комплексе такое соотношение составляет 1:1,3:1,9, что свидетельствует о недостатке углеводов, который необходимо восполнить в течение дня во время других приемов пищи.

Результаты анализа состава студентов, посетивших столовую № 1, представлены на рисунке. Следует добавить, что среди опрошенных студентов преобладали девушки (60%); 25% опрошенных посещают столовую ежедневно; 16,7% студентов кушают в столовой 5 раз в неделю; 8,3% – 4 раза; 20% – 3 раза; 11,7% – 2 раза и 18,7% – 1 раз в неделю. При этом 65% студентов покупают горячие блюда, 63,3% – салаты, 51,7% – супы и только 28,3% покупают сладкие блюда.

На основе полученных результатов исследования можно сделать следующие рекомендации. Ассортимент кисломолочных напитков можно разнообразить внесением таких продуктов, как ряженка, простокваша и ацидофилин, йогурт. В группу супов разумно было бы включить супы на овощном бульоне, без добавления мясных, рыбных и молочных продуктов. Ежедневно присутствующее картофельное пюре можно заменить другими блюдами из картофеля, а также разнообразить кабачками, тыквой, цветной капустой и брокколи, приготовленными на пару или другим способом, и макаронными изделиями. К группе сладких блюд целесообразно добавить свежие фрукты и ягоды.



**Рисунок – Распределение студентов, посещающих столовую № 1, по факультетам и курсам**

Одним из вариантов оптимизации меню может служить формирование комплексных обедов, учитывающих потребность студенческой молодежи в энергии и пищевых веществах. Поскольку суточная потребность в калориях для различных групп людей (юношей и девушек; тех, кто ведет активный или пассивный образ жизни) различна, целесообразно ежедневно составлять два-три таких комплекса, различающихся суммарной калорийностью. Кроме этого для сложных блюд, по названию которых нельзя понять состав, следует в скобках расшифровывать основные ингредиенты, а также дополнительно указывать в меню энергетическую ценность изделий. Возможно, такие изменения сделают питание в столовой № 1 более привлекательным для студентов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Химический состав блюд и кулинарных изделий: Справ. табл. содерж. основ. пищевых веществ и энергет. ценности блюд и кулинар. изделий: В 2 т. / Под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. – М. – 1994. –Т. 1, ч. 1 – 205 с.

2. Рациональное питание. Принципы рационального питания [Электронный ресурс] – <http://fb.ru/article/197753/ratsionalnoe-pitanie-printsipyi-ratsionalnogo-pitaniya-i-ego-znachenie>. – Дата доступа 22.11.2017.

3. Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь : СанПиН : утв. Постановлением Министерства здравоохранения РБ №180 от 20.11.2012.

УДК 613.21;641.1/3

Студ. Т.И. Войчук

Науч. рук. доц. З.Е. Егорова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

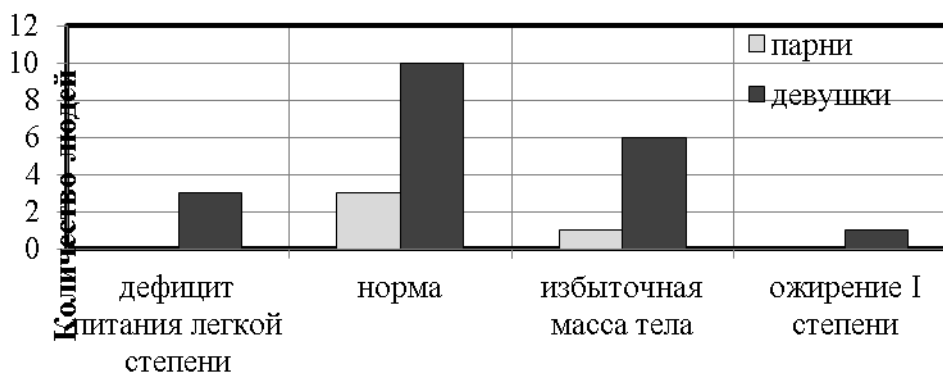
### **ОЦЕНКА СТАТУСА ПИТАНИЯ СТУДЕНЧЕСКОЙ ГРУППЫ И РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ**

Одним из важнейших факторов, обуславливающим состояние здоровья человека, является питание. Рациональное, сбалансированное питание обеспечивает нормальный рост и развитие организма, определяет умственное и физическое развитие, гарантирует оптимальное функционирование всех органов и систем, формирует иммунитет [1]. Поэтому исследования, посвященные изучению и анализу статуса питания отдельных групп населения, являются актуальными и имеют научное и практическое значение. В данной работе представлены результаты изучения статуса питания студентов, обучающихся на 4-м курсе факультета технологии органических веществ.

Объектом исследования была информация о рационе питания студентов группы ТОВ-12 4 курса (списочный состав – 24 человека). В качестве метода исследования использовали метод активного интервьюирования о количестве фактически потребленных студентом пищевых продуктов в течение предыдущих суток (24-х часовое воспроизведение питания) [2]. С этой целью была составлена анкета,

состоящая из двух частей. В первой части содержались вопросы об антропометрических показателях (масса тела, рост, индекс массы тела) и о социальном окружении студентов; вторая часть включала форму-вопросник для записи данных о питании за предшествующие опросу сутки (время и место приема пищи, характеристики и качество каждого потребленного блюда). Анкетирование проводилось дважды с интервалом в три дня. Полученные результаты усреднялись. Расчет должной массы тела осуществляли по формуле Broca [3]. Расчет пищевой и энергетической ценности потребляемых опрашиваемыми студентами пищевых продуктов осуществляли в соответствии с [4].

Результаты анализа антропометрических показателей студенческой группы приведены на рисунке 1. Как видно из рисунка половина девушек и большая часть парней студенческой группы имеют нормальную массу тела, избыточная масса тела и ожирение выявились у около 33% девушек и парней. Низкая масса тела была определена у девушек (около 15%).



**Рисунок – Распределение студентов по антропометрическим показателям**

Результаты расчета среднего суточного потребления энергии, а также основных нутриентов пищи (белки, жиры, углеводы) студентами группы приведены в таблице.

**Таблица – Среднесуточное потребление энергии и основных нутриентов студентами группы**

Пол	Энергия, ккал	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г
Мужской	2127,79	97,61	87,52	259,27
Женский	1587,40	61,47	108,01	194,69

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что соотношение белков, жиров и углеводов в суточном рационе питания

студентов, в среднем, соответствует рекомендациям ВОЗ, однако потребление энергии несколько ниже [5]. Несмотря на достаточно благополучную ситуацию со средним потреблением белков, жиров и углеводов, индивидуальные величины потребления этих нутриентов не отвечают принципам здорового питания. Так, у приблизительно 52% студентов наблюдалось избыточное потребление белка в день; энергетический вклад жира более 30% от общей калорийности суточного рациона был отмечен у 42% студентов; энергетический вклад углеводов более 55% для девушек и 60% для парней от общей калорийности суточного рациона был выявлен почти у 13% студентов.

Анализ результатов проведенных нами расчетов, позволил сформулировать следующие рекомендации. Студентам с пониженной массой тела можно порекомендовать включить в рацион питания больше мясных блюд, а также корнеплоды, цельные крупы, орехи, масла; увеличить потребление молочных продуктов, включая свежий, не соленый сыр; как можно больше есть крахмалистых и сахаристых веществ; при приготовлении пищи не злоупотреблять такими специями, как анис, имбирь, кардамон, кориандр, корица, куркума, семена горчицы, тмин; исключить прием «холодной» пищи [6]. Для студентов с повышенной массой тела целесообразны следующие рекомендации: сократить количество употребляемой пищи; дробное питание (5–6 раз в день) в спокойном состоянии; исключить из питания легкоусвояемые жиры и углеводы; осуществлять кулинарную обработку пищи путем варки, тушения, на пару [7].

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: большинство студентов питаются крайне нерегулярно, перекусывая на ходу, всухомятку; в среднем суточное потребление энергии среди девушек и парней на 400 ккал ниже рекомендованного; в рационе питания многих наблюдается несбалансированное употребление белков, жиров и углеводов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Замбжицкий, О.Н. Питание как фактор формирования здоровья студентов / О.Н. Замбжицкий, Н.Л. Бацукова, А.Г. Берулава // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / ГУ «Респ. научно-практ. центр гигиены». Гл. ред. В.П. Филонов – Минск. – 2008. – Вып. 12. – С. 123–126.
2. Методы оценки фактического питания и пищевого статуса взрослых : инструкция по применению № 001-0215 : утв. М-вом здравоохранения РБ 20.03.2015 / И.И. Кедрова [и др.]. – 31 с.

3. Клинико-патофизиологическая стандартизация оценки статуса питания: Методическая разработка для самостоятельного обучения врачей / Ю.В. Горкун, Ю.Х. Мараковский. – Минск: Минздрав РБ. –2009. – 56 с.

4. Скурихин, И.М. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: Справочник / И.М. Скурихин, В.А. Тутельян. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.

5. Инструкция Главного государственного санитарного врача РБ от 11.11.2005 № 173 «Нормы физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии для различных групп взрослого населения РБ».

6. Чрезмерная худоба или недостаточная масса тела / Health.mpei.ac.ru [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://health.mpei.ac.ru/fet.htm>. – Дата доступа 10.12.2017.

7. Избыточная масса тела / Grandars.ru [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.grandars.ru/college/medicina/izbytochnaya-massa-tela.html>. – Дата доступа 10.12.2017.

УДК 613.21;641.1/3

Студ. П.Л. Крупенко

Науч. рук. доц. З.Е. Егорова

(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

### **РАЗРАБОТКА НЕДЕЛЬНОГО РАЦИОНА ПИТАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ СТАРШИХ КЛАССОВ**

Анализ литературы [1–3] в области гигиены питания детей различных возрастов показал, что рациональное питание – одно из основных средств обеспечения нормального физического и умственного развития детей. Значение рационального питания возрастает в условиях большой учебной нагрузки, а также в связи с ускорением физического развития и ранним половым созреванием. Согласно исследованиям специалистов в области гигиены школьного питания [2], основной проблемой является нарушение принципов составления меню, сопряженное с нарушением пищевой ценности рационов. Исходя из этой обобщенной проблемы, возникают и другие, а именно: нутриентная и витаминная недостаточность, нарушение режимов питания, избыточное потребление «быстрых» углеводов, а также детское ожирение. Поэтому, тема сбалансированного питания школьников старших классов всегда остается актуальной.

Учитывая вышеизложенное, целью данной работы была разработка недельного рациона питания школьников старших классов, расчет его

пищевой и энергетической ценности с учетом рецептуры. Для достижения поставленной цели нами был сделан обзор научно-технической и специальной литературы в области гигиены питания школьников, изучен ассортимент пищевых продуктов для питания детей, реализуемых на товарном рынке Беларуси, подобраны пищевые продукты на основе расчета их пищевой и энергетической ценности для составления недельного рациона. Объектом исследования в данной работе была информация, приведенная на этикетках продуктов питания, в поваренных книгах, таблицах калорийности пищевых продуктов [3]. Также нами были изучены справочные данные о физиологических потребностях детей школьного возраста в энергии и основных пищевых веществах, методические рекомендации по организации питания обучающихся в учреждениях образования, недельные меню школьных столовых, ассортимент продукции школьного буфета [3]. Результаты изучения ассортимента пищевых продуктов для питания детей, реализуемых на товарном рынке Беларуси, приведены в таблице 1. Как видно, ассортимент продуктов детского питания промышленного производства не отличается разнообразием и рассчитан на детей дошкольного и младшего школьного возраста.

**Таблица 1– Ассортимент пищевых продуктов для питания детей**

Наименование продукта	Возраст ребенка					
	с 3-х месяцев	с 6-ти месяцев	с 8-ми месяцев	с 12-ти месяцев	с 3-х лет	старше 6-ти лет
«Галерея вкуса»						
Сосиски молочные					+	+
«Беллакт», «Агуша», «Фрутоняня», «Heinz Baby», Nestle «Gerber»						
Йогурт		+	+	+	+	+
Молоко	+	+	+	+	+	+
Творог		+	+	+	+	+
Кефир		+	+	+	+	+
Соки		+	+	+	+	+
Сухие каши		+	+	+	+	
Ряженка		+	+	+	+	+
Вода	+	+	+	+	+	+
Фруктовые злаковые батончики					+	+
Питьевые каши		+	+			

Для составления недельного рациона питания школьников старших классов мы использовали ассортимент продуктов, используемых для питания учащихся в столовой СШ № 9 г. Светлогорска. Нами предложен четырехразовый прием пищи, который состоит из традиционного

школьного обеда, завтрака и ужина в стенах дома, а также второго завтрака, употребляемого в школе. В качестве средней калорийности дневного рациона принимали норматив, равный 2100 ккал, рассчитанный по формуле Харриса-Бенедикта. Предполагали, что среднестатистическая старшеклассница имеет рост 170 см и вес, равный 55 кг, среднестатистический старшеклассник, соответственно, – 170 см и 70 кг. При таких антропометрических показателях, девушка должна получать в день не менее 1900 ккал, а парень – 2400 ккал. В таблице 2 приведен пример дневного рациона питания школьника старших классов.

**Таблица 2 – Таблица-меню одного дня (понедельника) для школьника старших классов**

Меню	Количество, г	Пищевая ценность			Энергетическая ценность, ккал
		Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	
1	2	3	4	5	6
Завтрак					
Каша овсяная	200	6	3,4	30	176
Джем малиновый	30	0,21	0,12	7,17	31,8
Творог,9%	100	16,7	9	2	159
Сметана ,20%	15	0,42	3	0,48	31,2
Второй завтрак					
Бутерброд с помидорами	100	5,2	12,1	15,4	190,4
Обед					
Картофельное пюре	150	3,75	6,3	22,05	159
Котлета по-киевски	80	13,44	11,4	23,76	299,6
Салат витаминный	150	2,55	1,8	8,7	60,9
Компот из сухофруктов	250	2	0	35,5	150
Ужин					
Запеченная скумбрия	120	19,68	15,24	0,6	218,88
Рис	200	4,4	1	49,8	232
Салат из овощей	150	1,65	5,25	6,6	79,65
Чай	250	0,25	0	0	0
Печенье овсяное	120	7,8	17,28	86,16	524,4
ИТОГО		84,3	85,93	288,2	2312,83

Таким образом, фактическая энергетическая ценность разработанного нами недельного меню для школьников старших не



превышает 2200 ккал, что приемлемо как для юношей, так и для девушек.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Рациональное питание детей школьного возраста [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pda.litres.ru/ilya-melnikov/racionalnoe-pitanie-detey-shkolnogo-vozrasta/chitat-onlayn/> – Дата доступа 20.11.2017.

2 Актуальные проблемы организации школьного питания [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-organizatsii-pitaniya-shkolnikov> – Дата доступа 20.11.2017.

3 Калорийность готового блюда с учетом потерь при кулинарной обработке [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.calorizator.ru/product/fruit/apple> – Дата доступа 20.11.2017.

УДК678.21

студ. О.В. Боголепова

Науч. рук. проф. О.В. Карманова

(кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, ВГУИТ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВУЛКАНИЗАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

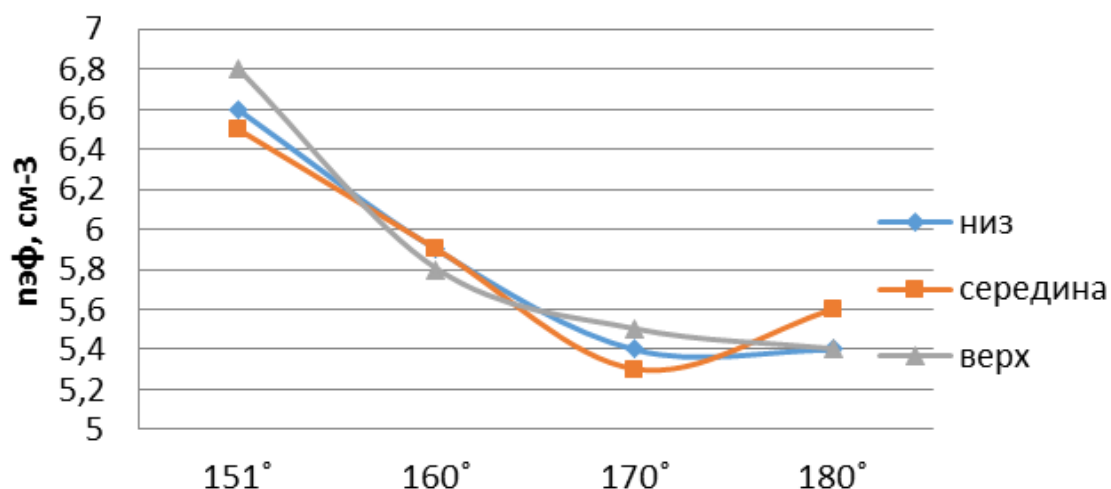
В процессе структурирования массивных эластомерных изделий температура по всему сечению неодинакова, и, следовательно, степень вулканизации различна. В связи с этим возникает необходимость исследования процесса вулканизации таких образцов и оценки распределения температурных полей по всему сечению.

Целью работы явилось изучение вулканизационных свойств и оценка кинетики сшивания протекторных резиновых смесей при нестационарных режимах вулканизации.

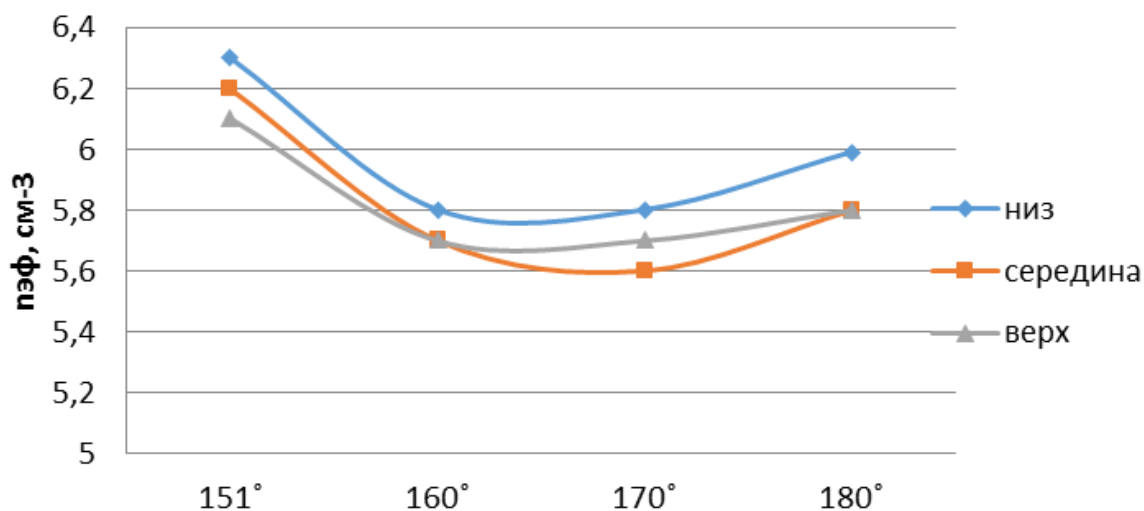
В качестве объектов исследования были выбраны модельные резиновые смеси - прототипы протекторных для изготовления пневматических шин (П-1 и П-2), которые отличались составом вулканизирующей группы, типом и дозировкой наполнителей. Приготовление, смешение и вулканизацию резиновых смесей проводили в соответствии с рекомендациями, изложенными в ГОСТ 30263-96. Резиновые смеси изготавливали на лабораторном резиносмесителе РС-3 по двухстадийному режиму смешения при

температуре  $100 \pm 1^\circ\text{C}$  с доработкой смесей на лабораторных вальцах. Вулканизацию осуществляли на экспериментальной установке, снабженной блоком регистрации изменения теплофизических характеристик образца. При этом термопары размещались в массиве образца по слоям: верх, середина, низ образца.

Методом равновесного набухания исследованы структурные параметры вулканизатов. Вулканизационные свойства резиновых смесей изучали с помощью реометра Монсанто при температурах 150, 160, 170, 180  $^\circ\text{C}$ .



**Рисунок 1 - Эффективная концентрация поперечных связей образцов шифра П-1 по слоям при разных температурах**



**Рисунок 2 – Эффективная концентрация поперечных связей образцов шифра П-2 по слоям при разных температурах**

Установлено, что зависимости концентрации поперечных связей в исследуемых образцах имеют минимум в области 170 °С для резины П-1 и 160-170 °С для резины П-2. Увеличение температуры вулканизации выше 170 °С обуславливает повышение концентрации поперечных связей в образцах, более выраженное для резины П-2. Плотность сшивки выше в приграничных слоях. Выявлено, что тип вулканизирующей группы оказывает влияние на структурные параметры вулканизатов, полученных при температурах выше 160 °С.

Экспериментальные данные позволили определить оптимальную продолжительность вулканизации при различных температурах. Полученные результаты используются при математическом моделировании неизотермической вулканизации. Это позволяет разрабатывать оптимальные режимы вулканизации массивных резиновых изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лукомская А. И., Баденков П. Ф., Кеперша Л. М. Расчеты и прогнозирование режимов вулканизации резиновых изделий – М.: Изд-во Химия, 1978. – 280 с.
2. Карманова О.В., Тихомиров С.Г., Пятаков Ю.В., Касперович А.В., Молчанов В.И. Моделирование кинетики неизотермической вулканизации массивных резиновых изделий // Труды БГТУ. – 2014. – № 4. – С. 100–104.

УДК678.21

студ. А.В. Карманов, А.Н. Бондаренко  
 Науч. рук. проф. Ю.Ф. Шутилин, проф. С.Г. Тихомиров  
 (кафедра химии и химической технологии органических соединений  
 и переработки полимеров, ВГУИТ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДЕСТРУКЦИИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТИЛКАУЧУКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

В соответствии с классификацией полимеров по типу преобладающих радиационно-химических превращений бутилкаучук относится преимущественно к деструктирующимся [1]. При обработке резин на основе бутилкаучука ионизирующими излучениями благодаря протеканию процессов деструкции можно получать материалы с заданными пласто-эластическими свойствами, варьируя дозу облучения [2].

В качестве объектов исследования использовали вулканизаты резиновых смесей на основе бутилкаучука смоляной вулканизации. Резины подвергали облучению на источнике  $\text{Co}^{60}$  дозами 40–100 кГр и получали регенераты.

Радиационные регенераты подвергали дополнительной механообработке в пластикодере «Брабендер» со смесительной камерой объемом 50 см<sup>3</sup> при скорости вращения роторов 30 и 45 об/мин. Фиксировали крутящий момент, характеризующий реологические свойства образцов.

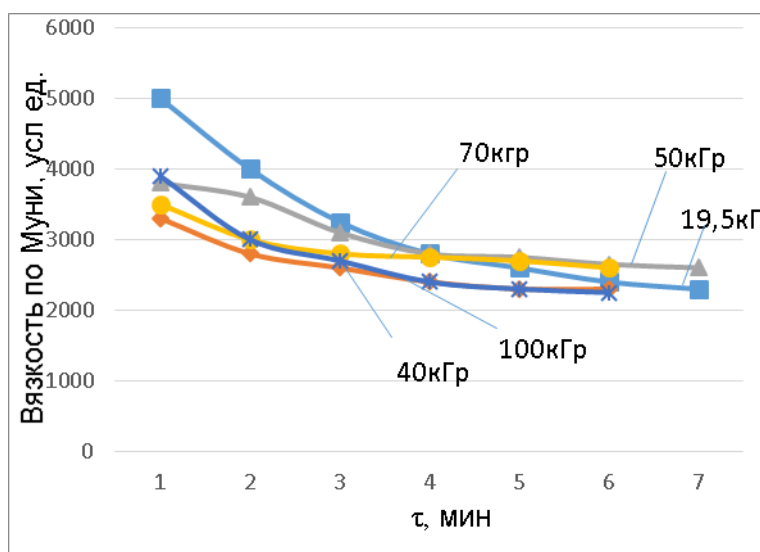
Пласто-эластические свойства полученных бутилрегенератов оценивали по показателю вязкости, который определяли на вискозиметре Муни при температуре 100 °С. Результаты представлены в таблице на рисунке. Для оценки влияния дополнительной механообработки в пластикодере Брабендер использовали коэффициент снижения вязкости по Муни – коэффициент обрабатываемости  $\lambda_M$  (табл.):

$$\lambda = \frac{2 \cdot (M_{\max} - M_{\min})}{M_{\max} + M_{\min}}$$

Установлено, что дополнительная механообработка образцов, полученных при малых дозах облучения (до 40 кГр) способствует снижению вязкости по Муни в ~ 2 раза, при средних 50-70 кГр ~ 1,7, при больших дозах облучения ~ в 1,5 раза.

**Таблица – Изменение вязкости по Муни в ходе механообработки образцов**

Доза облучения	До механообработки	После механообработки	Коэффициент обрабатываемости λМ
40 кГр	164	82	1,99-2,00
50 кГр	132	75	1,68-1,76
70 кГр	112	64	1,71-1,75
100 кГр	85	55	1,55-1,63



**Рисунок – Зависимости реологической вязкости от времени механического воздействия**

Результаты эксперимента легли в основу разработки математической модели радиационной деструкции, использование которой дает возможность подобрать условия проведения процесса для достижения требуемых пласто-эластических свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Осошник И.А., Карманова О.В., Шутилин Ю.Ф. Технология пневматических шин. Воронеж : ВГТА, 2004, 508 с.
2. Хаккимулин Ю.Н. Структура, свойства и применение радиационных регенератов резин на основе бутилкаучука. Казань: КГТУ, 2010. 188 с.

УДК 547.973: 543.421 : 543.432

студ. Ю.А. Борисова, К.В. Мажукова

Науч. рук. доц. П.Н. Саввин

(кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, ВГУИТ)

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА РОССИИ

В последние годы растет интерес в натуральным косметическим средствам. При этом отмечается, что наиболее важно провести замену таких синтетических компонентов как ПАВ, консерванты и пигменты.

Антоцианы, являясь полифенольными соединениями, обладают легким бактерицидным и консервирующим действием, способны выполнять функцию не только красящих веществ, но и антиоксидантов.

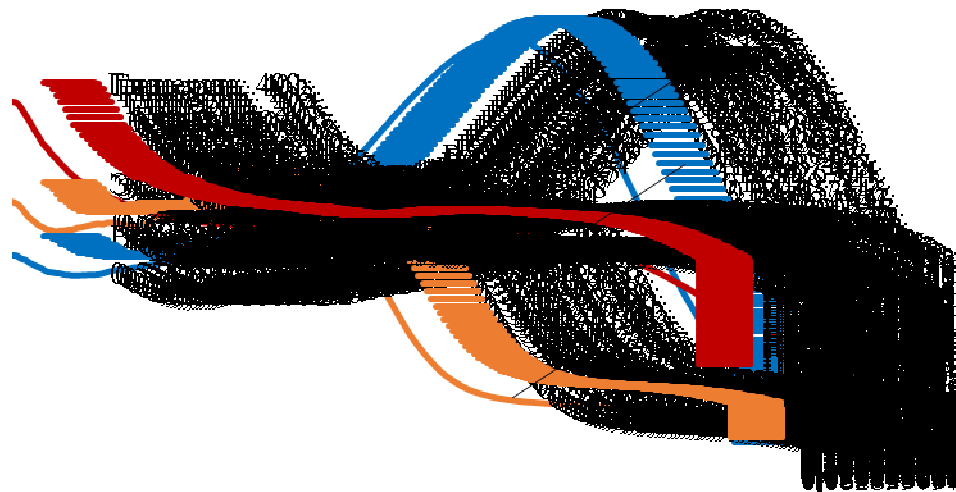
Исходным сырьем послужили выжимки ягод вишни (*Cerasus vulgaris*) и ежевики (*Rubus fruticosus*). Экстрагирование проводили полярными растворителями – подкисленной водой, этанолом и глицерином по схеме, представленной на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема получения экстрактов**

Спектры поглощения экстрактов (рисунок 2) снимали на спектрофотометре СФ-56 (ЛОМО, Россия), длина оптического пути 1,00 см в видимом диапазоне длин волн.

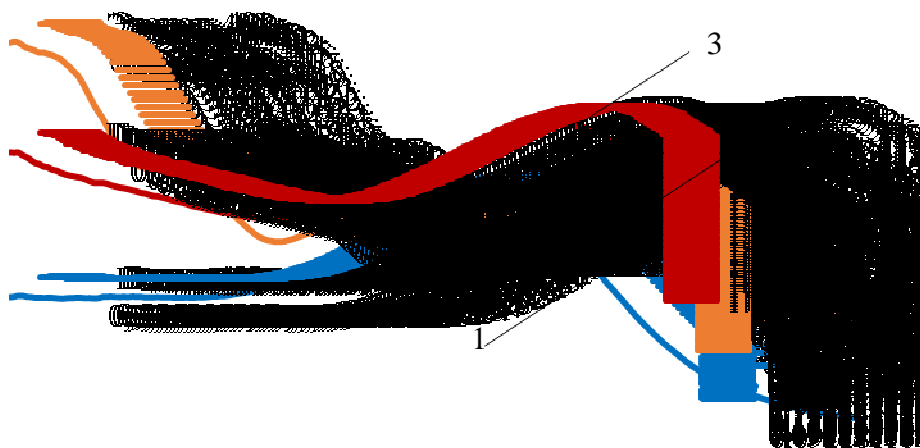
А



а

Длина волны, нм

А



б

Длина волны, нм

Рисисунок 2 – Спектральные характеристики экстрактов  
а – вишни, б – ежевики  
Экстрагент: 1 – вода, 2 – этанол, 3 - глицерин

Отмечается, что при снижении полярности экстрагента в ряду вода-глицерин-этанол отмечается сдвиг максимума светопоглощения в длинноволновую область, что обусловлено смещением таутомерного равновесия в экстрактах в сторону образования хиноидной структуры.

Цветометрическая оценка окраски экстрактов (рисунок 3), показала, что при использовании кислых растворов антоцианы извлекаются преимущественно в катионной форме, окрашенной в красный цвет, при этом интенсивность окраски экстрактов минимальна.

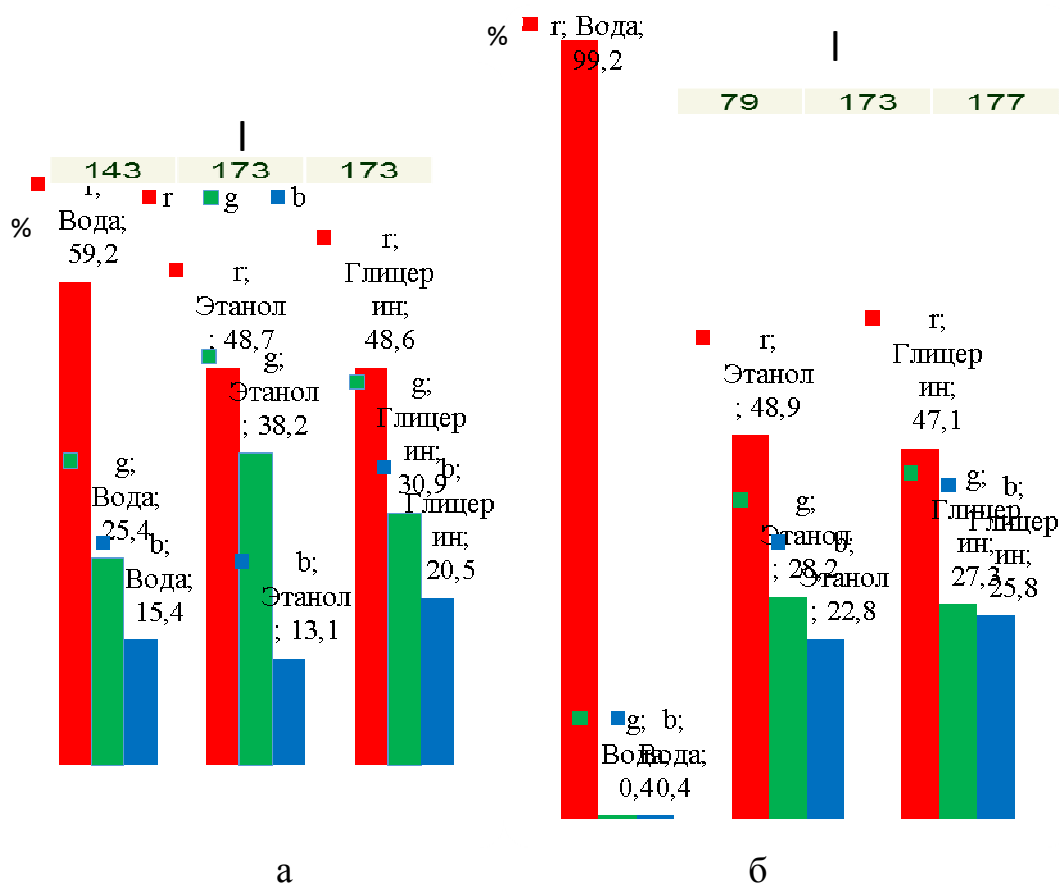


Рисунок 3 – Цветометрическая оценка экстрактов  
а – вишни, б – ежевики

Экстрагирование этиловым спиртом позволяет извлекать антоцианы не только в интенсивно окрашенной катионной форме, но и бесцветной карбинольной. Таким образом, при последующем подкислении интенсивность красной окраски существенно возрастает. Наиболее стабильны при хранении этанольные и глицериновые экстракты. Более низкая полярность этанола позволяет извлекать из растительного сырья не только антоцианы, но и сопутствующие каротиноиды.



УДК 678.7:691.173

студ. В.В. Власова, Д.В. Клепиков

Науч. рук. доц. В.А. Седых

(кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, ВГУИТ)

## **ЭКСПРЕСС- МЕТОД ОЦЕНКИ ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ**

Входной контроль резиновых смесей в производстве РТИ предполагает оценку физико-механических показателей резин и кинетику вулканизации.

Кинетика резиновых смесей определяется с помощью дорогостоящих реометров. В настоящее время малые предприятия не могут позволить приобретение такого оборудования. Поэтому представляется актуальным использование недорогих капиллярных вискозиметров для определения кинетики вулканизации [1-3].

Цель работы – сравнить кинетики вулканизации резиновой смеси полученные с помощью капиллярного и ротационного вискозиметров и оценить возможность применения капиллярного вискозиметра для решения этих задач.

Объектом исследования являлась резиновая смесь на основе каучуков общего назначения средней степени наполнения.

На реометре определена кинетика вулканизации резиновой смеси при температуре 145 и 165°C (рис. 1).

При 145°C выявлены 3 периода изменения крутящего момента: снижение (от 0 до 2,5 мин) вследствие разогрева резиновой смеси; интенсивный рост (от 2,5 до 10 мин) по причине сшивания макромолекул каучука (главный период вулканизации); стабилизация (от 10 до 60 мин) на уровне 70-75 Н\*м (плато вулканизации).

При увеличении температуры до 165°C (на 20°C) проявление 1-ого периода снижения крутящего момента не зафиксировано.

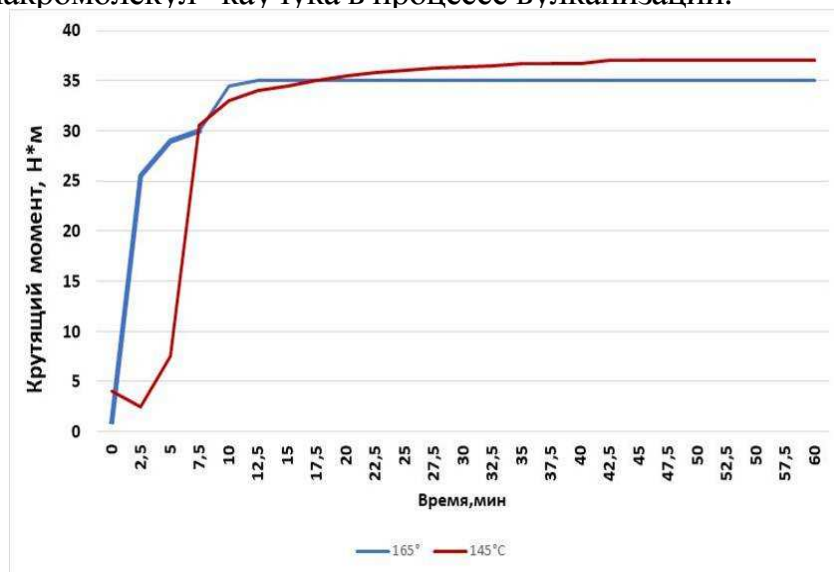
С целью анализа кривых во втором и третьем периодах провели их линеаризацию и сравнили коэффициенты линейных зависимостей (табл. 1).

Для этой же резиновой смеси определена кинетика вулканизации на капиллярном вискозиметре ИИРТ 5М (рис. 2, табл. 2) при температурах (140, 150 и 160 °С). Результаты представлены в виде графиков.

Согласно кривым, приведенным на рис. 2, выявлено 2 периода изменения текучести резиновой смеси:

в 1 периоде при 140 и 150°C текучесть сначала увеличивалась по причине разогрева смеси и уменьшения вязкости;

во 2-м главном периоде текучесть уменьшается в результате сшивания макромолекул каучука в процессе вулканизации.



**Рисунок 1 – Влияние температуры на кинетику вулканизации резиновой смеси (Реометр Монсанто 100S)**

**Таблица 1 – Влияние температуры на коэффициенты уравнений регрессии зависимости крутящего момента (Y) от продолжительности вулканизации (x)**

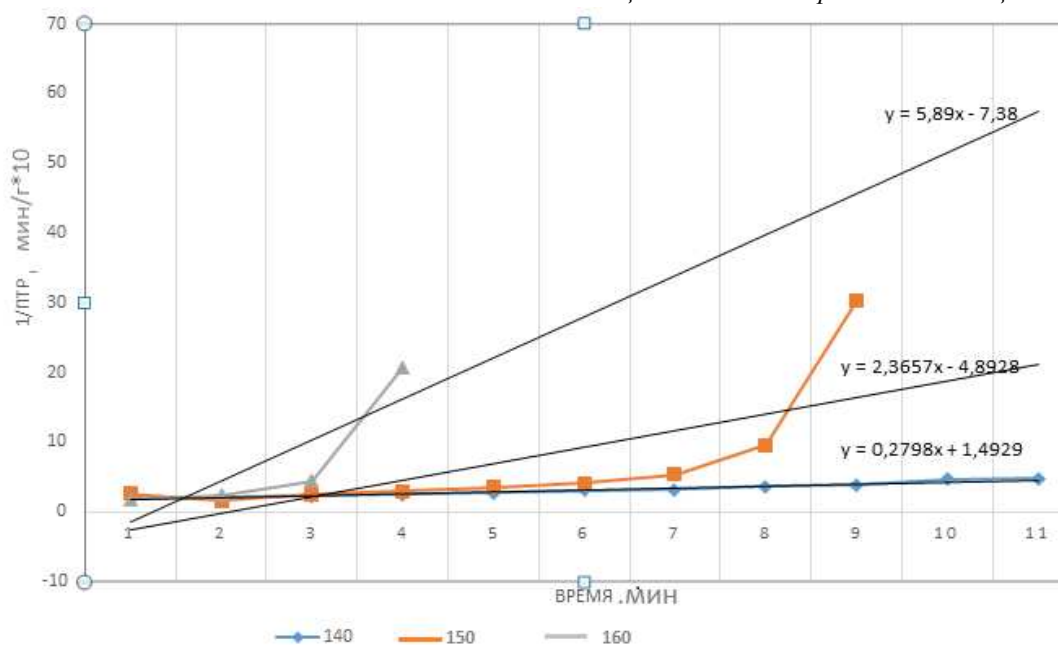
Температура вулканизации, °С	Коэффициенты уравнения регрессии $Y_i = A_i \cdot x + B_i$			
	главный период		плато вулканизации	
	$A_1, \text{Н}^*\text{М}/\text{мин}$	$B_1, \text{Н}^*\text{М}$	$A_2, \text{Н}^*\text{М}/\text{мин}$	$B_1, \text{Н}^*\text{М}$
145	16,6	-19	0,41	65,8
165	17,7	-0,5	0,24	65,7

При 160°C за первую минуту прогрева рост текучести резиновой смеси не зафиксирован.

Сравнили коэффициенты линейных зависимостей.

**Таблица 2 – Влияние температуры на коэффициенты уравнений регрессии зависимости обратной текучести ( $Y=1/\text{ПТР}$ ) от продолжительности вулканизации (x)**

Температура вулканизации, °С	Коэффициенты уравнения регрессии $Y=C \cdot x + D$	
	$C, 1/\text{г} \cdot 10$	$D, (\text{мин}/\text{г}) \cdot 10$
140	0,28	-1,5
150	2,37	-4,9
160	5,89	-7,4



**Рисунок 2 – Влияние температуры на вид линейных уравнений регрессии зависимости обратной текучности резиновой смеси от продолжительности нагрева**

Отсюда следует, что капиллярный вискозиметр оперативно регистрирует главный период кинетики вулканизации.

Таким образом, с помощью капиллярного вискозиметра подтверждено уменьшение текучности резиновой смеси в процессе нагревания и увеличение скорости потери текучности с ростом температуры.

Капиллярный вискозиметр может быть использован для оценки кинетики вулканизации резиновой смеси в главном периоде. Это позволит расширить область применения типового капиллярного вискозиметра ИИРТ-5М не только для определения текучности термопластов, но и реактопластов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марк, Дж., Каучук и резина. Наука и технологии. Монография. Пер. с англ.: Научное издание/ Дж. Марк, Б. Эрман, Ф. Эйрич (ред.) – Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект», 2011. – 768 с.
2. Осошник, И.А. Производство резиновых технических изделий / И.А. Осошник, Ю.Ф. Шутилин, О.В. Карманова. – В.: ВГТА, 2007. – 972 с.
3. Шутилин, Ю.Ф. Физикохимия полимеров: Монография/ Ю.Ф. Шутилин – Воронеж, 2012. – 838 с.

УДК 547.973: 543.421 : 543.432

студ. А.В. Епифанова  
 Науч. рук. доц. П.Н. Саввин  
 (кафедра химии и химической технологии органических  
 соединений и переработки полимеров, ВГУИТ)

## ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ЭКСТРАКТА КРАСНОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ pH

Антоцианины представляют собой 3-гликозидные производные полиоксифлавилиевых солей – антоцианидинов. В настоящее время в природе идентифицировано около 275 антоцианинов.

Окраска водного раствора сильно зависит от pH среды. При pH < 4 она красная [антоцианы находятся преимущественно в катионной форме (рисунок 1)], при возрастании pH окраска меняется сначала на голубую, затем на зеленовато-желтую.

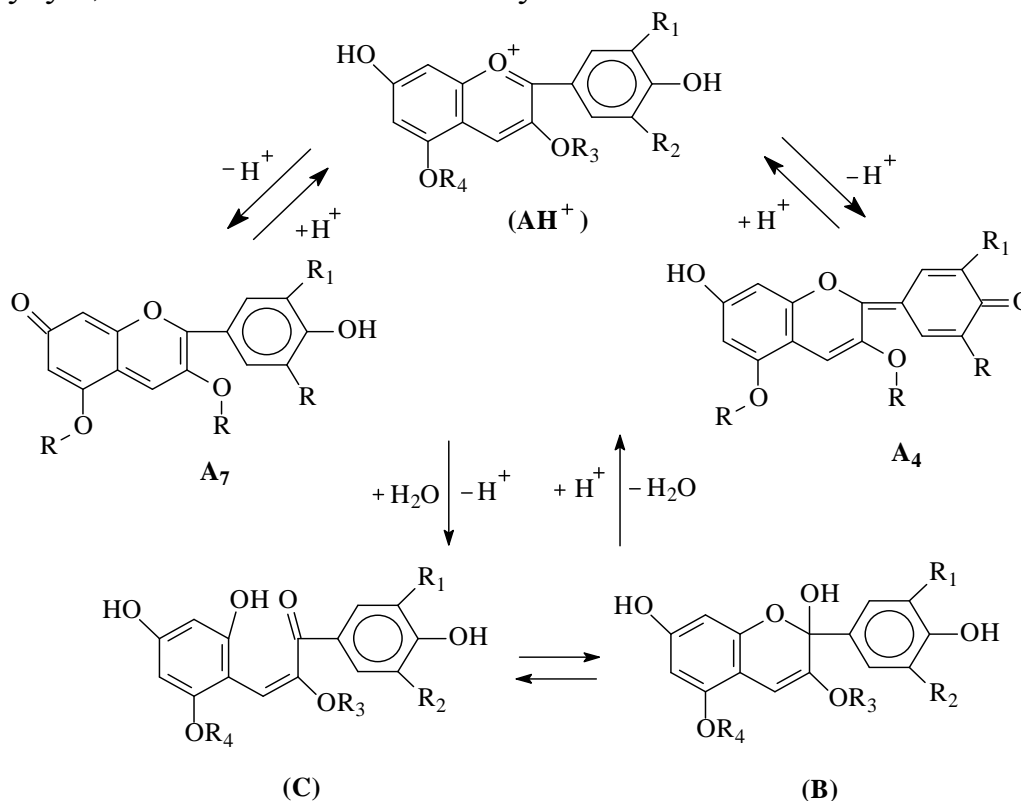


Рисунок 1 – Равновесные формы антоцианов в растворе:

AH<sup>+</sup> – флавилиевый катион; A<sub>4</sub> – хиноидная форма 1  
 (ангидрооснование 1);

A<sub>7</sub> – хиноидная форма 2 (ангидрооснование 2); B – карбинольная форма  
 (псевдооснование); C – халкон; R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> = H, OH, OCH<sub>3</sub>; R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> = H,  
 углеводный остаток

Визуальный анализ окраски свежеприготовленных растворов показал, что с изменением рН от 1 до 5 происходит осветление растворов, цвет изменяется от ярко-красного до светло-розового, начиная с рН 6, происходит потемнение растворов и смещение оттенка цвета в сторону грязно-зеленого.

Спектральные характеристики экстрактов в зависимости от кислотности среды, снятые на спектрофотометре СФ-56, приведены на рисунок 2.

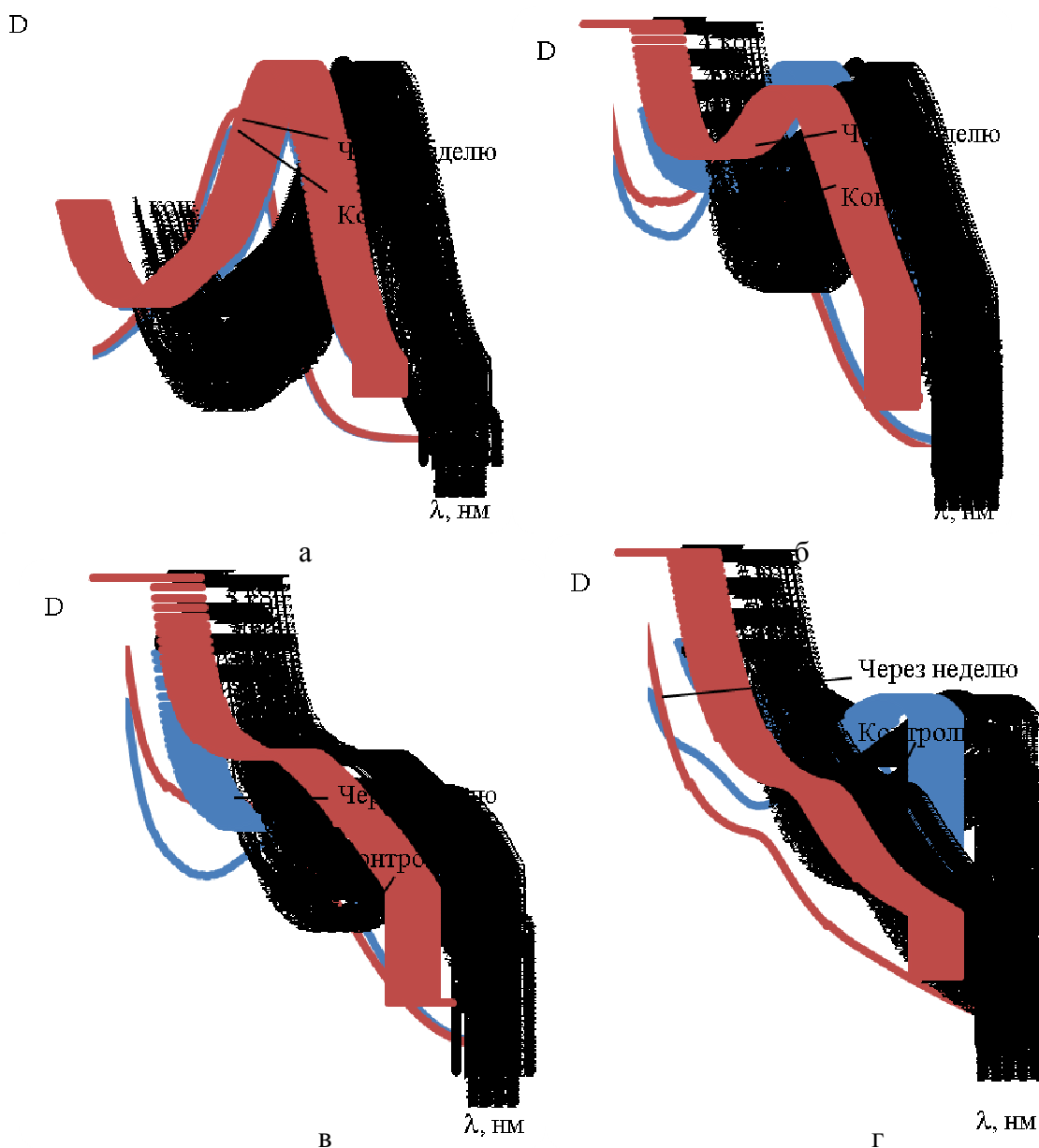


Рисунок 2 – Спектры поглощения спиртового экстракта капусты краснокочанной в зависимости от рН среды: а – 1; б – 4; в – 5; г – 7

Анализ данных показал, что при низкой кислотности среды (рН 1-2) растворы антоцианов проявляют высокую стабильность, при этом значение оптической плотности растворов изменяется незначительно, максимум светопоглощения не изменяется. С ростом значения рН наблюдается увеличение количества антоцианов в бесцветной карбинольной форме ( $\lambda_{\max} = 370-370$  нм). Это проявляется в снижении величины оптической плотности при  $\lambda_{\max} = 519$  нм. При рН 5-7 наблюдается батохромный сдвиг максимума поглощения на величину 10-40 нм, обусловленный образованием хиноидной структуры ( $\lambda_{\max} = 560-590$  нм). Значение оптической плотности при  $\lambda_{\max}$  в диапазоне рН 5-7 растет, что обусловлено накоплением хиноидной формы.

Изучение цветовых характеристик в системе RGB показало, что при уменьшении кислотности среды доля красной компоненты окраски растворов динамично снижалась от 100 до 30 % (рис. 3), причем наибольшее падение проходило в интервале от рН 1 до рН 4.

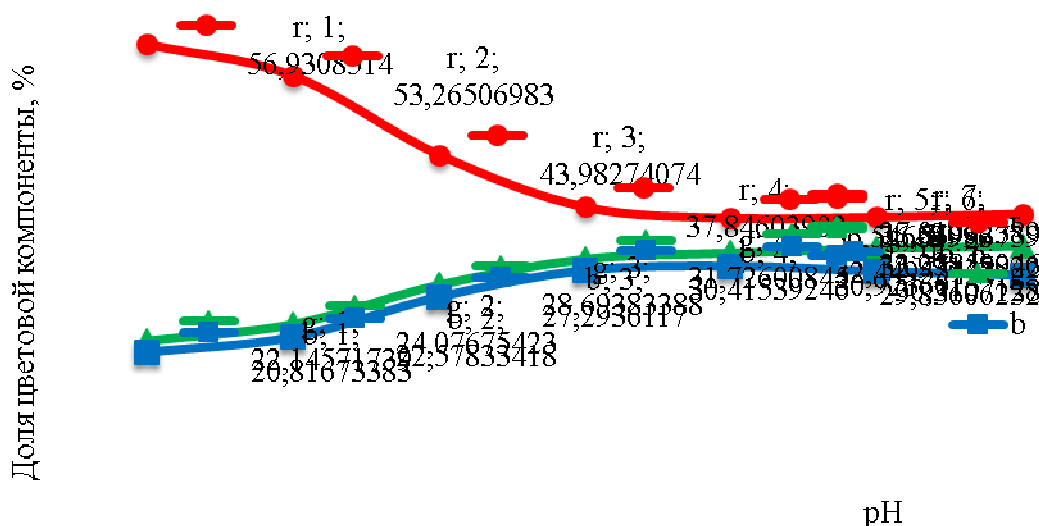


Рисунок 3 – Зависимость нормированного цвета экстракта капусты краснокочанной от кислотности среды

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов В. М. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение / В. М. Болотов, А. П. Нечаев, Л. А. Сарафанова. – СПб. : ГИОРД, 2008. – 240 с.
2. Сарафанова Л. А. Пищевые добавки: Энциклопедия / Л. А. Сарафанова. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб : ГИОРД, 2004. – 808 с.
3. Применение сканера и компьютерных программ цифровой обработки изображения для количественного определения сорбированных веществ / Ю.Л. Шишкин [и др.] // Журнал аналитической химии. - 2004. - Т. 59, № 2. - С. 119-124.

УДК 66.063.612

студ. К.С. Игнатова

Науч. рук. доц. П.Н. Саввин

(кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, ВГУИТ)

## **МОНОГЛИЦЕРИДЫ ЖИРНЫХ КИСЛОТ КАК ЭМУЛЬГАТОРЫ В КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ**

Эмульгаторы представляют собой органические соединения, обладающие поверхностно-активными свойствами.

С точки зрения химии, молекулы классических эмульгаторов, являющихся поверхностно-активными веществами, имеют дифильное строение, то есть содержат полярные гидрофильные (растворимые в воде) и неполярные гидрофобные (растворимые в неполярных системах) группы атомов, которые, будучи связанными с основанием (неполярным соединительным звеном), отделены друг от друга и располагаются на противоположных концах молекулы. Такое строение и способность эмульгаторов концентрироваться на границе раздела фаз дает возможность получать стойкую эмульсию.

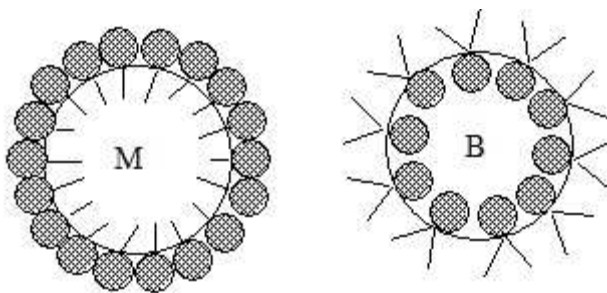
Эмульгаторы по своей природе являются ПАВ. При нанесении на кожу, они действуют на липидный барьер, увеличивая проницаемость рогового слоя. Для сохранения барьера кожи (его жирового слоя) в качестве ПАВ-веществ применяют производные жирных кислот. Данные высококачественные, мягкие ПАВ отличаются по своей структуре от молекул традиционных ПАВ, и проникновение сквозь роговой слой сведено к минимуму, из-за особенностей строения молекулы данных ПАВ не вступают в реакцию с липидами и белками рогового слоя. Моно- и диглицериды жирных кислот в косметических средствах возможно использовать как ухаживающий, увлажняющий компонент.

Механизм стабилизирующего действия эмульгаторов различен, но есть общие закономерности, которые характеризуются правилом Банкфорта: гидрофильные эмульгаторы (ПАВ, лучше растворимые в воде, чем в «масле» или порошки, смачиваемые водой) стабилизируют прямые эмульсии (масло/вода), а гидрофобные эмульгаторы (ПАВ, лучше растворимые в неполярной жидкости, или порошки, смачиваемые этой жидкостью) способствуют образованию обратных эмульсий (вода/масло). Другими

словами, дисперсионной средой эмульсии будет жидкость, с которой у эмульгатора большее сродство.

Молекулы ПАВ, взаимодействуя полярными группами с водой, а углеводородными цепями – с «маслом», образуют по обе стороны от поверхности раздела фаз соответственно гидратный и сольватный слои. Образовавшаяся сольватная или гидратная оболочка не дает капле слиться с другими каплями эмульсии. Соотношение между размерами толщины этих слоев определяет тип эмульгатора, а, следовательно, и тип эмульсии. Если гидратная оболочка толще сольватной оболочки (т.е. преобладают гидрофильные свойства), то эмульгатор имеет сродство с водной дисперсионной средой и стабилизирует прямую эмульсию. Если толще сольватная оболочка, то стабилизируется обратная эмульсия, поскольку у эмульгатора большее сродство с неполярной дисперсионной средой.

Низкомолекулярные ПАВ с длиной цепи от 12 до 18 атомов углерода проявляют наиболее выраженное эмульгирующее действие. Например, мыла щелочных металлов ( $R-COONa$ ) стабилизируют прямые эмульсии (рис.1, М) и не могут образовывать устойчивые обратные эмульсии, а мыла щелочноземельных металлов ( $(R-COO)_2Ca$ ) формируют устойчивые обратные эмульсии (1, В) и не стабилизируют прямые эмульсии.



**Рисунок – М – масло/вода; В – вода/масло**

Механизм стабилизации высокомолекулярными ПАВ аналогичен. Но они являются менее устойчивыми эмульгаторами, чем низкомолекулярные ПАВ.

Большой перечень сложных эфиров, получаемых из жирных кислот в присутствии глицерина, используются как эмульгаторы в парфюмерии и косметике. Эмульгатор обязательный компонент косметических кремов эмульсионного типа. Крем - это эмульсия -



система, состоящая из двух или более несмешивающихся жидкостей, в которой присутствуют внутренняя и внешняя фазы. Внутренняя фаза - это мелкодисперсные капли масел, восков, липидов. Внешняя фаза может состоять из воды, спиртов и других растворителей - крем станет эмульсией типа «масло в воде», если в ее составе - жироподобные композиции и масла, то – это эмульсия «вода в масле».

Для оценки эмульгирующих и ухаживающих свойств тестируемые эмульгаторы были введены в состав разработанной рецептуры крема. Полученные образцы протестированы на стабильность, и определен уровень гидратации кожи методом корнеометрии после использования крема. Образцы были проанализированы на соответствие требованиям по физико-химическим показателям предъявляемым Техническим регламентом таможенного союза «О безопасности парфюмерно-косметической продукции» и требованиям ГОСТ 31460-2012 «Кремы косметические. Общие технические условия» (таблица).

**Таблица – Показатели качества образцов**

Наименование показателя	Показатель
Массовая доля воды и летучих веществ, %	5,0-98,0
Водородный показатель (рН)	5,0-9,0
Коллоидная стабильность	Стабилен
Термостабильность	Стабилен

Положительный результат дал эксперимент по вводу эмульгаторов в качестве ухаживающего компонента. Тестирование показало, что увлажнение кожного покрова и длительность увлажняющего эффекта в рецептуре без использования тестируемых образцов или их коммерческих аналогов ниже.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. Пищевая химия // Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. - СПб.: ГИОРД 2007. – 399 с.

2. Барковский Е.В., Ткачев С.В., Пансевич Л.И., Латушко Т.В., Болбас О.П. Основы биофизической и коллоидной химии. Учебно-методическое пособие для студентов медицинских вузов // Барковский Е.В., Ткачев С.В., Пансевич Л.И., Латушко Т.В., Болбас О.П. – Минск: 2008. – 269 с.

3. Стась И.Е., Фомин А.С. Дисперсные системы в природе и технике Учебное пособие к элективному курсу для студентов 4-го курса химического факультета // Стась И.Е., Фомин А.С. Барнаул: 2005. – 217 с.

УДК678.4.06

студ. В.С. Коровина, К.А. Алексеев

Науч. рук. доц. В.А. Седых

(кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, ВГУИТ)

### **ТЕРМООКИСЛЕНИЕ ПОЛИБУТАДИЕНА В ПРИСУТСТВИИ ПОЛИВИНИЛКАРБАЗОЛА**

Полибутадиен марки СКД-НД нашел широкое применение в химической промышленности, так как по ряду показателей превосходит натуральный каучук [1–3].

Известна склонность 1,4-цис-полибутадиена к структурированию в процессе термоокислительного старения.

Цель работы – изучить процесс механо-термоокислительного старения 1,4-цис-полибутадиена (СКД-НД) в присутствии олигомера поливинилкарбазола (ПВК).

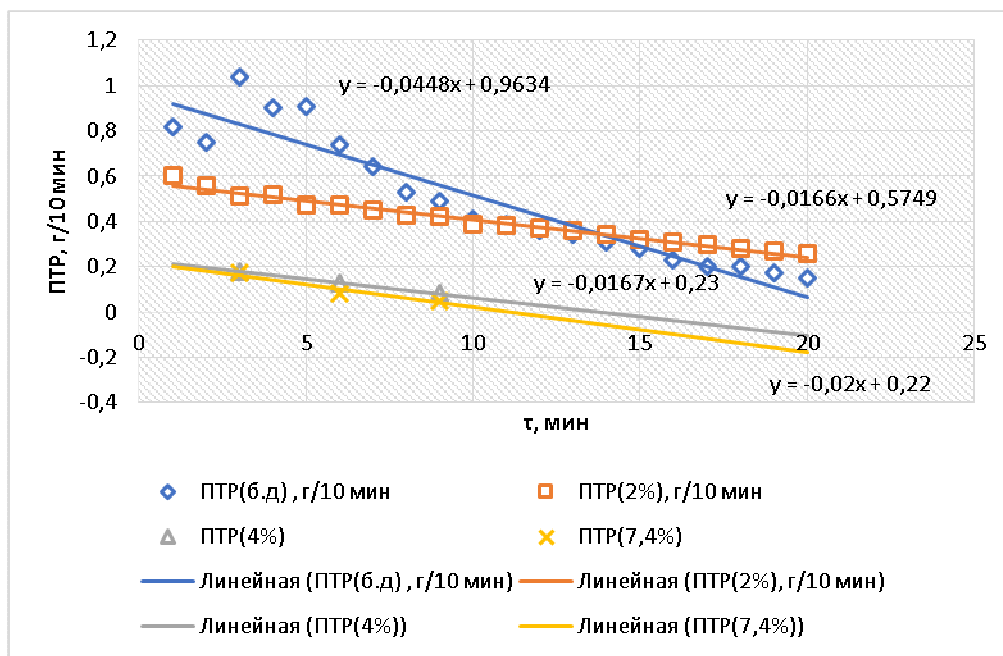
Наполнение каучука СКД-НД поливинилкарбазолом осуществлялось смешением растворов с последующим высушиванием пленок при 40°C в течение 48 ч. Образцы развальцовывались, подвергаясь первичному механо-, термоокислительному воздействию.

С помощью капиллярного вискозиметра ИИРТ-5М при температуре 190°C и нагрузке 98 Н определены кинетические зависимости текучести расплава СКД-НД с различным содержанием ПВК (рисунок 1).

Обнаружено снижение расчетного уровня текучести при увеличении содержания ПВК.

Подтверждено, что в процессе механо-, термоокислительной деструкции текучесть расплава СКД-НД уменьшилось, то есть вязкость увеличивалась. Показано, что в присутствии ПВК механо-, термоокислительное структурирование каучука ускорялось.

В дополнение к реологическим кривым определена кинетика набухания и растворимость СКД-НД в присутствии ПВК в алифатическом растворителе – октане (рисунок 2, таблица).



Содержание ПВК в СКД-НД, % (мас.)	Коэффициенты уравнения регрессии $y=at+b$	
	a, г/10 мин <sup>2</sup>	b, г/10 мин
отс.	-0,05	0,96
2,0	-0,02	0,57
4,0	-0,02	0,23
7,4	-0,02	0,22

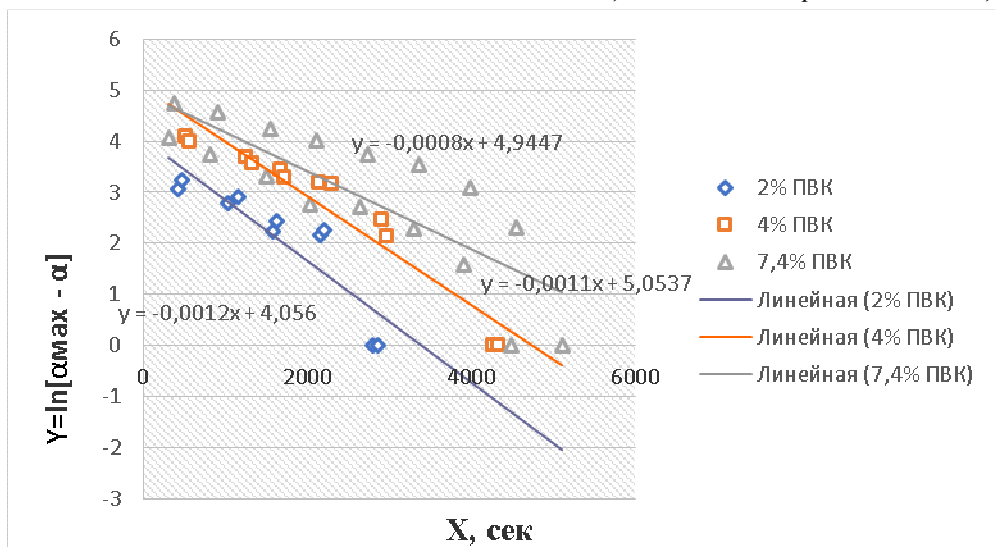
**Рисунок 1 – Кинетика изменения текучести расплава СКД-НД при различном содержании ПВК:**

◇ - без добавок; □ - 2,0%; Δ - 4,0%; × - 7,4% (мас.) ПВК

**Таблица – Влияние содержания ПВК на растворимость и максимальную степень набухания СКД-НД ( $\alpha_{max}$ , %) в октане**

Содержание ПВК в СКД-НД, % (мас.)	Растворимость	$\alpha_{max}$ , %
2,0	Полная	72,9
4,0	Частичная	102,1
7,4	Отсутствует	125,6

Установлено, что с увеличением содержания ПВК в СКД-НД скорость его набухания, растворимость в октане уменьшались при росте максимальной степени набухания.



Содержание ПВК в СКД-НД, % (мас.)	Коэффициенты уравнения регрессии $Y=cX+d$	
	c, 1/с	d
2,0	-0,0012	4,1
4,0	-0,0011	5,1
7,4	-0,0008	5,0

**Рисунок 2 – Зависимость кинетики набухания СКД-НД от содержания ПВК:  $\diamond$  - 2,0%;  $\square$  - 4,0%;  $\Delta$  - 7,4% (мас.)**

Таким образом, увеличение содержания поливинилкарбазола в 1,4-цис-полибутадиене, подвергнутого механо-, термоокислительному воздействию, снижает текучесть расплава, скорость набухания и растворимость в октане по причине структурирования полимера.

Ускорение процесса механо-, термоокислительного старения 1,4-цис-полибутадиена, по-видимому, объясняется наличием третичного азота в поливинилкарбазоле.

#### ЛИТЕРАТУРА

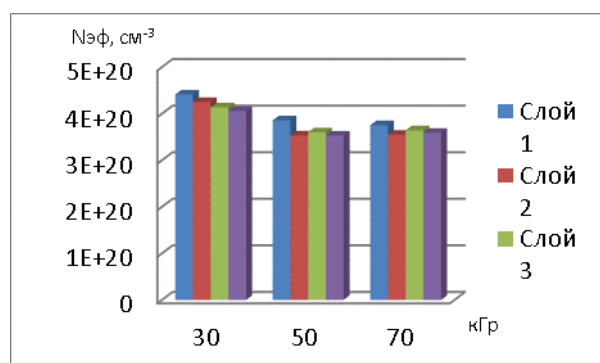
1. Осошник, И.А. Производство резиновых технических изделий / И.А. Осошник, Ю.Ф. Шутилин, О.В. Карманова. – В.: ВГТА, 2007. – 972 с.
2. Марк, Дж., Каучук и резина. Наука и технологии. Монография. Пер. с англ.: Научное издание/ Дж. Марк, Б. Эрман, Ф. Эйрич (ред.) – Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект», 2011. – 768 с.
3. Шутилин, Ю.Ф. Физикохимия полимеров: Монография/ Ю.Ф. Шутилин, – Воронеж, 2012. – 838 с.

УДК678.06

студ. Т.Е. Лисовцовав  
 Науч. рук. проф. О.В. Карманова  
 (кафедра химии и химической технологии органических соединений и  
 переработки полимеров, ВГУИТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУТИЛРЕГЕНЕРАТА

В последние годы интерес к регенерации отработанных полимерных изделий постоянно возрастает. Это касается утилизации диафрагм шинного производства, которые изготавливаются из бутилкаучука (БК). Замена этого ценного полимера в рецептурах резин регенератом позволит обеспечить значительный экономический и экологический эффект. В качестве источника излучения для регенерации БК из отработанных диафрагм применяли  $\gamma$ -установку (источник  $Co^{60}$ , НИИТФА). Обработку проводили дозами 30-70 кГр. Проведены определения структурных параметров вулканизационной сетки образцов методом равновесного набухания: определяли равновесную степень набухания, молекулярную массу цепи между узлами пространственной сетки, эффективную концентрацию поперечных связей. Структурные параметры бутилрегенератов определяли в четырех слоях отработанных диафрагм (2 внешних и 2 внутренних). В качестве растворителей были выбраны толуол и циклогексан.



**Рисунок – Эффективная концентрация поперечных связей образцов по слоям в зависимости от поглощенной дозы облучения**

Анализ экспериментальных зависимостей показал, что наблюдается изменение степени вулканизации при переходе от внутреннего слоя к внешнему. Для образцов бутилрегенарата, полученных при дозах 50-70 кГр плотность химически сшитых цепей сетки приблизительно одинакова, но значительно ниже, чем для образцов, облученных при 30 кГр.

УДК678.04

студ. Е.В. Медведева, К.В. Киргизова  
 Науч. рук. проф. О.В. Карманова  
 (кафедра химии и химической технологии органических соединений  
 и переработки полимеров, ВГУИТ)

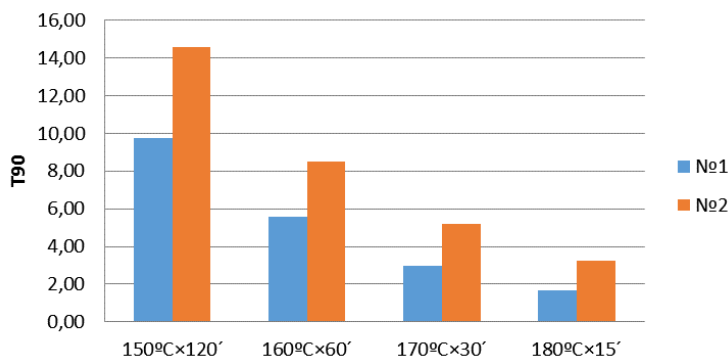
## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОКОРДНЫХ КОМПОЗИТОВ

При изготовлении резиновых массивных изделий актуальной задачей является обеспечение требуемой степени вулканизации. Примером таких изделий могут служить автомобильные шины, при неравномерной вулканизации слоев которой могут иметь место различные виды брака: отслоение элементов покрышки, пузыри под протектором и т.д. [1]. Важно подобрать такие режимы вулканизации, которые позволили предотвратить эти явления и повысить качество выпускаемой продукции [2].

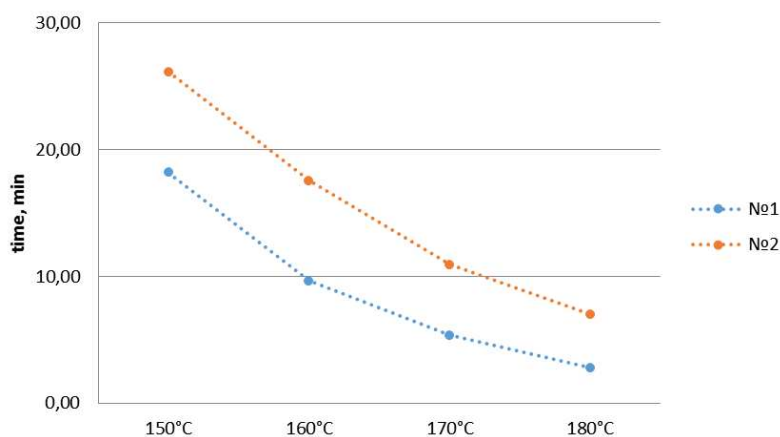
Целью данной работы явилось изучение вулканизационных свойств и оценка кинетики сшивания протекторных резиновых смесей при нестационарных режимах вулканизации. Были выбраны 2 рецептуры, отличающиеся составом вулканизирующей группы, типом и дозировкой наполнителей. Вулканизационные свойства резиновых смесей изучали с помощью реометра Монсанто при температурах 150, 160, 170, 180 °С (табл.). Вулканизаты резиновых смесей получали прогревом в прессе, снабженном устройством определения теплофизических характеристик. Исследования кинетики структурирования проводили также на образцах, полученных послойным наложением слоев обрезиненного текстильного корда, резиновых прослоек, обрезиненного металлокорда, резины беговой части протектора (2 варианта – резиновые смеси шифров №1 и №2). С этой целью были изготовлены резиновые смеси соответствующего назначения.

**Таблица – Экспериментальные и расчетные значения  
 кинетических параметров вулканизации**

Температура вулканизации, С	Вулканизационные свойства			
	$\tau_s$ , мин	$\tau_{90}$ , мин	$k_1$	$k_2$
150	6,4	13,2	0,04	0,16
160	5,0	10,2	0,08	0,28
170	4,2	5,8	0,11	0,40
180	3,3	5,2	0,12	0,52



**Рисунок 1 – Оптимум вулканизации образцов при разных температурах**



**Рисунок 2 – Зависимости времени достижения максимального крутящего момента при разных температурах**

Скорость вулканизации композиций оценивали по значениям констант скорости  $k_1$  (в индукционном периоде) и  $k_2$  (в главном периоде), которые рассчитывали согласно уравнениям теории индукционного периода Корана. Расчёт констант осуществляли в среде MathCad.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лукомская А.И., Баденков П.Ф., Кеперша Л.М. Расчеты и прогнозирование режимов вулканизации резиновых – М.: Изд-во Химия, 1978. – 280 с.
2. Карманова О.В., Тихомиров С.Г., Пятаков Ю.В., Касперович А.В. Молчанов В.И. Моделирование кинетики неизометрической вулканизации массивных резиновых изделий // Труды БГТУ. – 2014. – № 4. – С. 100–104.

УДК 691.175.2

студ. А.С. Сосницкая, В.А. Свечникова

Науч. рук. доц. А. С. Казакова

(кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, ВГУИТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПВХ, НАПОЛНЕННЫХ МЕЛОМ

В настоящее время одним из самых крупнотоннажных синтетических полимеров является поливинилхлорид (ПВХ) благодаря приемлемой стоимости и универсальности – как по числу способов его переработки, так и по множеству конечных продуктов.

Свойства ПВХ можно варьировать в широких пределах путем введения пластификаторов, различных добавок, в число которых входят наполнители. В композициях на основе ПВХ наиболее часто используемым наполнителем является мел. Общий баланс достигаемых свойств и низкая стоимость привели к его применению в большинстве жестких и эластичных продуктов, за исключением прозрачных изделий.

В данной работе объектом исследования являлись композиции на основе ПВХ, с различным содержанием мела, которые в дальнейшем используются для изготовления детских игрушек. Состав исследуемых композиций приведен в таблице 1.

**Таблица 1 – Состав исследуемых композиций**

Наименование	Содержание карбоната кальция, мас. %			
	20	30	40	50
Диоктилфталат	41,6	41,6	41,6	41,6
ПВХ	37,34	37,34	37,34	37,34
Мел	7,47	11,1	14,95	18,16
Эпоксидированное соевое масло	2,1	2,1	2,1	2,1
Стеарат кальция	0,035	0,035	0,035	0,035
Диоксид титана	0,21	0,21	0,21	0,21

Важными свойствами для оценки эксплуатационных характеристик являются прочность и относительное удлинение при растяжении.

Испытание свойств композиций проводились на стандартных образцах, которые получали путем литья в фторопластовой форме. Температура в термостате 200 °С; время пребывания в шкафу 9 мин.



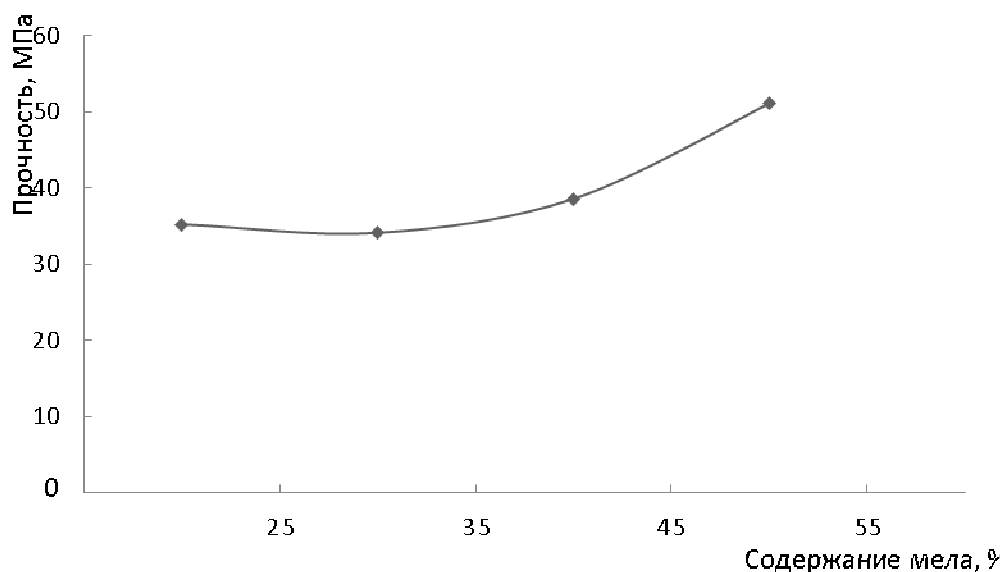
Форму охлаждали до комнатной температуры, извлекали образцы для испытания.

Прочностные испытания проводились по ГОСТ-14236 на разрывной машине РМИ – 60. В результате были получены следующие экспериментальные данные, представленные в таблице 2.

**Таблица 2 – Прочностные характеристики исследуемых композиций**

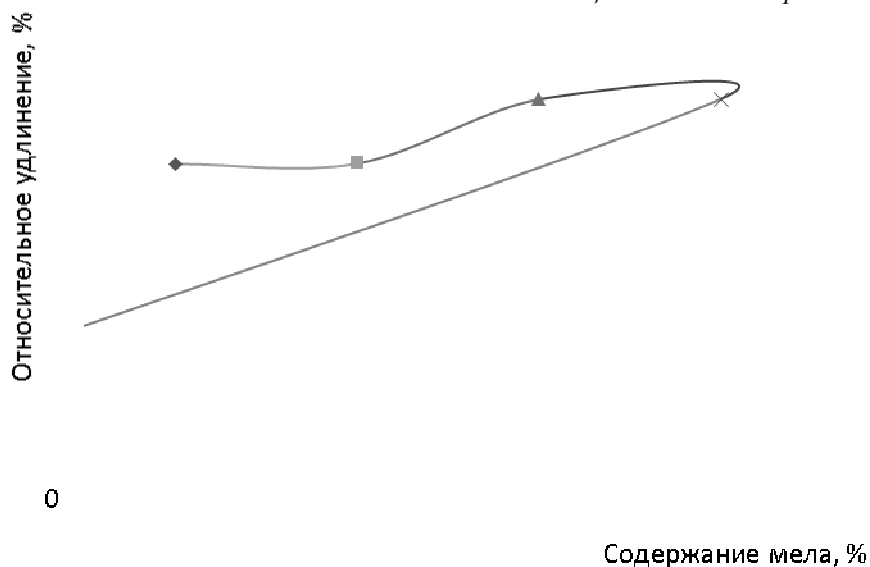
Содержание мела, %	Удлинение (мм)	Макс. прочность МПа	Относительное удлинение (%)
20	59,07	35,23	168,77
30	52,46	34,12	169,05
40	74	38,57	211,44
50	74,11	51,08	211,74

Наполнение опытных композиций мелом в дозировке от 20 до 50 мас. % увеличивает прочностные показатели, соответствующая графическая зависимость представлена на рисунках 1, 2.



**Рисунок 1 – Влияние содержания мела на максимальную прочность при растяжении**

При наполнении от 20 до 30 мас. % относительное удлинение и максимальная прочность изменяются незначительно, а с увеличением содержания мела от 30 до 50 мас. % прочностные показатели возрастают.



**Рисунок 2 – Влияние содержания мела на относительное удлинение при растяжении**

Увеличение содержания карбоната кальция в составе композиции позволяет снизить себестоимость исходного пластизоля для производства детских игрушек. Также с введением наполнителя улучшается качество получаемых изделий, а именно прочностные показатели, что влияет на увеличение срока эксплуатации реализуемой продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ. / Под ред. Гроссмана Р. Ф. Пер. с англ. под ред. Гузеева В. В. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 608 с.
2. Переработка пластмасс. / Шварц О., Эбелинг Ф. В, Фурт Б., под лбщ. ред. А. Д Паниматченко. – СПб.:Профессия, 2005 – 320 с.
3. Поливинилхлорид. / Уилки Ч., Саммерс Дж., Даниэлс Ч., Пер. с англ. под ред. Г.Е Заикова – Спб.: Профессия, 2007 – 728 с.

УДК 678.4

студ. А.А. Тодорук,  
Науч. рук. доц. А.С. Казакова  
(кафедра химии и химической технологии органических соединений и  
переработки полимеров, ВГУИТ)

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВТУЛКИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ ВАЗ 2121 НИВА (ЛАДА 4Х4)**

В настоящее время вопрос об износостойкости резиновых композиций становится все более актуальным. Особенно велика роль износостойкости в изготовлении таких изделий, как шины, ремни, шланги для пескоструйной обработки, втулки и футеровочные изделия. Самой востребованной группой изделий являются резино-технические изделия для ходовой части (пыльники, резиновые втулки, сайлентблоки).

Целью данной работы является усовершенствование технологии получения втулки резиновой на основе изопренового каучука с целью улучшения качества изделий и повышения производительности. В данной работе рассмотрено усовершенствование технологии получения, повышения качества и продления срока службы втулки резиновой путем оптимизации состава рецептуры резиновой смеси и совершенствования технологии – внедрение нового вулканизационного оборудования – пресса с дозирующим устройством.

Резиновая смесь является многокомпонентной системой. Кроме каучуков в ее рецептуру входят вулканизирующие агенты, ускорители и активаторы, обеспечивающие создание сетки поперечных связей, наполнители, пластификаторы и наполнители заданный комплекс свойств эластомерным материалам и изделиям на их основе.

Втулка резиновая используется в качестве резинового амортизирующего элемента в штангах продольной и поперечной устойчивости задней подвески автомобилей ВАЗ 2121 Нива. Изготавливается по технологическому регламенту и соответствует его требованиям. Основным сырьем для изготовления втулки резиновой является резиновая смесь, на основе каучука синтетического изопренового СКИ-3 (ТУ 2294-037-48158319-2010). Рабочий диапазон температур: от  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Резины из изопреновых каучуков отличаются высокой механической прочностью и эластичностью.

С целью усовершенствования технологии изготовления втулок резиновых предлагаются следующие направления, описанные ниже.

Замена в рецептуре резиновой смеси марки технического углерода П-514 на технический углерод П-324. Применяемый в качестве наполнителя углерод марки П-514 характеризуется следующими показателями: удельная поверхность,  $50\text{ м}^2/\text{г}$ ; насыпная плотность,  $330$

кг/м<sup>3</sup>. Этот углерод печной, среднеактивный, со средним показателем дисперсности и средним показателем структурности. А углерод технический П-324 активный, с высоким показателем дисперсности и показателем структурности: удельная поверхность, 75 м<sup>2</sup>/г; насыпная плотность, 370 кг/м<sup>3</sup>. Замена технического углерода П-514 на П-324 влияет на усовершенствование технологии изготовления резиновых втулок.

Введение каолина, что способствует улучшению физико-химических показателей (большее значение удельной поверхности, позволяющее повысить скорость вулканизации).

Применение прессы с дозирующим устройством, с помощью которого увеличивается объём выпускаемой продукции, снижается продолжительность вулканизации, сокращается количество бракованных изделий и улучшается качество изделий, возможность полной автоматизации и механизации процесса. В работе предложен пресс-дозатор, содержащий цилиндрический прессующий корпус внутри которого установлен прессующий шнек, прессующая головка, привод, отличающийся тем, что цилиндрический прессующий пресс соединен с вакуумной камерой, которая в свою очередь соединена с коническим корпусом вакуумного затвора, содержащий внутри себя конусный шнек, проходящий через вакуумную камеру и оснащенный лопатками внутри вакуумной камеры, а прессующая головка оснащена режущим механизмом с регулируемым приводом вращения и устройством подачи горячего воздуха, а вакуумная камера оснащена устройством отсоса влажного воздуха.

В связи с быстро растущими требованиями к РТИ необходимо решать комплекс сложившихся научно-технических задач, включающий наряду с использованием новых полимеров и эластомерных композиций, разработку специфических способов создания эластомерных композиций материалов, высокомеханизированных и автоматизированных процессов, более совершенных конструкций РТИ и методов повышения сроков службы изделий путем химической или физической модификации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Резниченко С.В. Большой справочник резинщика. Резины и резинотехнические изделия Том 2/ С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозов – Москва: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – 648 с.

2. Осошник И.А. Производство резиновых технических изделий: учеб. пособие /И.А. Осошник, Ю.Ф. Шутилин, О.В. Карманова. – Воронеж.: Гос. технол. акад. 2007. -972 с.- ISBN 978-5-89-448-533-1.

УДК 547.819

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ГИДРОФОБНЫХ ФЛАВОНОЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Данная научно-исследовательская работа посвящена изучению оптимальных условий получения гидрофобных флавоноловых соединений и их свойств.

Флавоноловые соединения содержатся в растительном сырье желтого или оранжевого цвета, по своей химической структуре представляют собой три шестичленных кольца, два из которых ароматических, а третье имеет пиранозную структуру.

Флавонолы имеют окрашенный фрагмент – агликон и гликозидный фрагмент. Благодаря присутствию гликозидного фрагмента данное соединение гидрофильное, а это значит, что флавонолы растворяется только в полярных растворителях, что ограничивает их применение во многих промышленных областях.

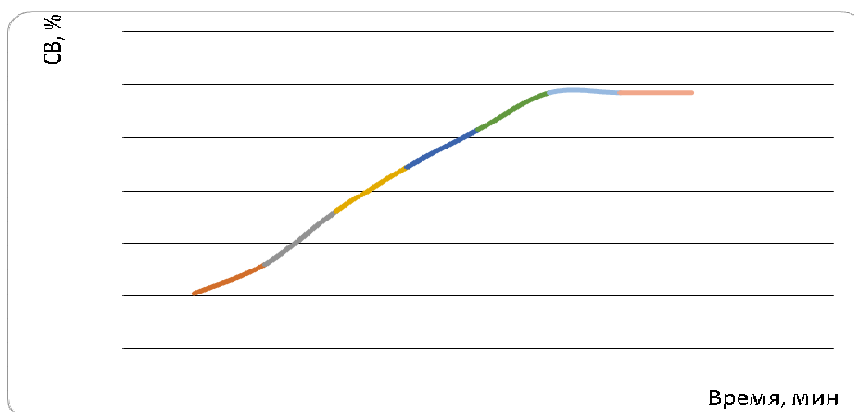
Был поставлен эксперимент изменения структуры флавонолов до гидрофобной формы.

Природные флавонолы экстрагировали из луковой шелухи водой в круглодонной колбе при перемешивании при температуре кипящей водяной бани. Эффективность процесса экстрагирования определяли рефрактометрическим методом периодическим отбором проб экстракта с измерением содержанием сухих веществ (табл.). Результаты исследования показывают, что оптимальное время экстрагирования флавонолов является 120 минут (рис.).

**Таблица – Содержание сухих веществ в составе экстракта от времени экстрагирования**

Время, мин	20	40	60	80	100	120	140	160
СВ, %	2,1	3,2	5,2	6,9	8,3	9,7	9,7	9,7

Полученный экстракт концентрировали удалением растворителя. Гидролиз концентрата экстракта проводили введением в раствор концентрированных серной или ортофосфорной кислот и нагреванием реакционной массы при температуре 70–75 °С.



**Рисунок – Зависимость извлечения сухих веществ методом экстрагирования с течением времени**

Время гидролиза определяли по содержанию сухих веществ в растворе. По окончании гидролиза реакцию смесь охлаждали и отфильтровали нерастворимый в воде агликон флавонола. Полученный осадок после высушивания - порошок коричневого цвета, хорошо растворимый в полярных растворителях (ацетон и изопропиловый спирт).

Проведенные исследования показывают, что введение гидрофобного флавонола в полимеры (например, полистирол) приводят к их фотостабилизации при облучении УФ-светом.

Таким образом, разработан способ получения гидрофобных флавонолов из природных соединений и исследованы его фотостабилизирующие свойства в составе полимерных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов В.М., Нечаев А.П., Сарафанова Л.А. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение. СПб.: ГИОРД, 2008. – 240 с.
2. Фойгт И. Стабилизация синтетических полимеров против действия света и тепла. Ленинград, Химия, 1972. – 544 с.

УДК 547.979.8

студ. А.В. Максименко  
Науч. рук. доц. Е.В. Комарова  
(кафедра химии и химической технологии органических соединений  
и переработки полимеров, ВГУИТ)

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭКСТРАКТОВ БАС СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Особенности современного развития косметической промышленности - разработка новых функциональных косметических средств, способствующих улучшению и сохранению здоровья благодаря регулируемому и нормализующему воздействию на организм человека. В связи с этим потребители стали чаще отдавать предпочтение продуктам с повышенной физиологической ценностью, содержащим натуральное сырье. При этом особая роль отводится производству косметических средств на основе растительного сырья, которые восполняют дефицит физиологически активных компонентов.

Растения содержат различные физиологически активные вещества (полифенольные соединения, аскорбиновая кислота, витамины Е и К, каротиноиды, антоцианы и другие биофлавоноиды), которые попадая в косметические средства, придают им ряд важнейших свойств. Наиболее важным из которых являются антиоксидантная активность, обеспечивающая защиту от перекисного окисления липидов, участвующих в образовании клеточных мембран в организме человека. Среди растительных пищевых красителей наиболее широко распространенными являются каротиноидные пигменты. Они имеют важное биологическое значение для человека, так как обладают А – витаминной активностью. Наиболее значимым среди каротиноидов является  $\beta$ -каротин, считаясь наиболее эффективным антиоксидантом.

Учитывая выше сказанное, работа направлена на расширение ассортимента косметологических препаратов с использованием натурального гидрофилизированного каротиноидного красителя и нативных антоциановых пигментов, обладающего антиоксидантными свойствами. С целью замены синтетических красителей со структурой молекул не идентичной природным соединениям, чаще всего вредных, нами проводится работа по расширению возможностей использования наиболее полезных для здоровья человека натуральных красителей, содержащих в своем составе кроме красящих пигментов другие биологически активные компоненты –

витамины, углеводы, органические кислоты и др. Поэтому использование натуральных пигментов для окрашивания продуктов позволяет не только улучшить внешний вид, но и повысить и физиологическую ценность продукции.

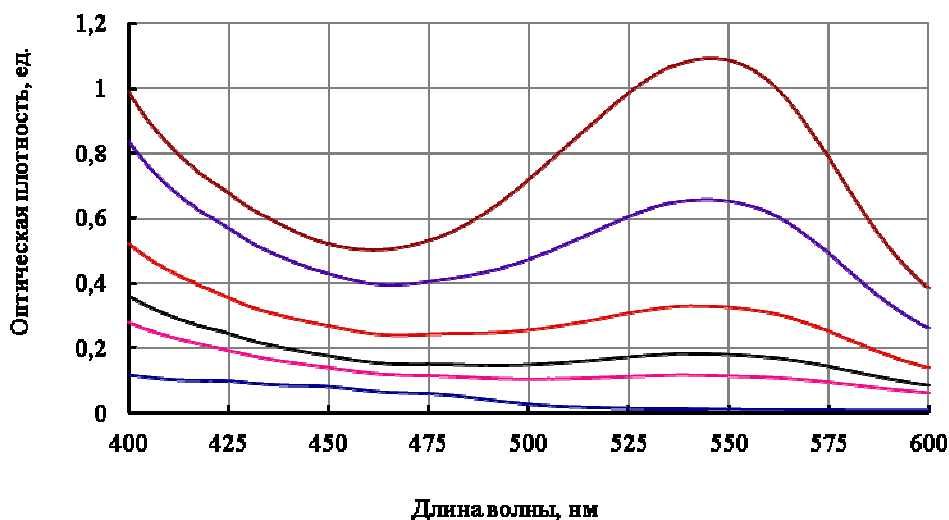
Объектами исследования являлись экстракты природных каротиноидных колорантов из термообработанного растительного сырья (плодов тыквы) этиловым спиртом (96 об. %), антоциановые красители из винограда сорта «Изабелла», а также экстракты из смеси сырья в различных соотношениях.

Внешний вид экстрактов – прозрачные, ярко окрашенные жидкости от оранжево-красного до красного-коричневого цвета.

Плоды тыквы измельчали проводили последовательную термообработку измельченного сырья при 50 °С, 70 °С и 90 °С в течение 4 ч при каждой температуре. Затем краситель экстрагировали этиловым спиртом с объемной долей 96 % при температуре 60 °С из расчета 500 см<sup>3</sup> спирта на 100 г сырья. Концентрирование проводили путем испарения этанола при атмосферном давлении. Антоциановый краситель получали следующим образом: выжимки винограда измельчали и проводили экстрагирование этиловым спиртом с объемной долей 96 %. Выжимки обрабатывали последовательно дважды при температуре 55 – 60 °С в течение 1,5 часа. Полученные экстракты отделяли от исходного сырья, объединяли, отстаивали при температуре 10 – 20 °С в течение 6 – 10 часов с последующей фильтрацией и концентрированием путем отгонки этанола при атмосферном давлении. Спиртовые растворы готовили путем совместного экстрагирования антоциан-каротиноидного термофилизированного сырья в соотношении 1:3 этиловым спиртом (96% об.) в течение 45 мин при температуре 55–60 °С, варьируя при этом кратностью экстрагирования. Полученные экстракты отфильтровывали, определяли спектральные характеристики, цветометрические характеристики с помощью RGB-анализа, изучали сохранность.

Спектрофотометрический анализ показал, что для всех растворов наблюдался четко выраженный сдвиг в длинноволновую область, т.к. антоциановые красители имеют более яркую окраску, чем каротиноидные (каротиноидные красители в этаноле имеют пик в области 460 нм, антоциановые – 549 нм, смесь красителей – 547 нм). (рисунок 1).





Рис

**унок 1 – Оптическая плотность растворов красителей при соотношении антоцианы : каротиноиды: 1 – 100:0; 2 – 50:50; 3 – 37,5:62,5; 4 – 25:75; 5 – 12,5:87,5; 6 – 0:100**

Исследована сохранность образцов смесей красителей при хранении в течение 30 суток (1 серия) и 14 суток (2 серия). При анализе данных обеих серий было установлено, что изменение значений оптической плотности в растворах каротиноидного, антоцианового и смеси красителей происходит незначительно в течение всего времени хранения. Суммарные потери цветности в течении месяца хранения составляют порядка 25 % от первоначального значения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.М. Болотов, Комарова, Е.С. Филатова, В.В. Хрипушин. Цветометрические характеристики композиционных каротиноидно-антоциановых экстрактов растительного сырья. Химия растительного сырья, 20165 – № 1. – С. 127–134.
2. Е.В Комарова, В.М. Болотов, П.Н. Саввин Получение антоциановых и каротиноидных соединений из растительного сырья и применение их для повышения антиоксидантной активности продуктов питания. Теоретические и практические вопросы интеграции химической науки, технологии и образования: материалы конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2017. – С. 43–50.

УДК678.049.4

студ. В.В. Биловус,  
Науч. рук. доц. М.С. Щербакова  
(кафедра химии и химической технологии органических соединений и  
переработки полимеров, ФГБОУ ВО ВГУИТ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В 3D-ПЕЧАТИ**

Компьютерные технологии все больше занимают места в реальной жизни. И едва ли сейчас найдётся человек, который хотя бы раз в жизни не слышал о 3D-принтере. Сегодня можно заказать 3d печать макетов, корпусов, игрушек, прототипов различных изделий.

3D-печать уверенно развивается на глобальном уровне и предлагает возможности, с которыми традиционное производство конкурировать просто не в состоянии. Ряд преимуществ, в том числе возможности создания целиком объекта со сложными внутренними структурами и практически безотходное производство определяют будущее этой технологии.

Не смотря на то, что трёхмерная печать ведет свою историю с 1951 года, когда был разработан ключевой принцип, положивший начало современной технологии, в настоящее время она является малоизученной и не теряет своей актуальности. Следует отметить, что ведущие аналитики прогнозируют перспективное будущее 3D-печати.

В мировом масштабе Россия представляет лишь 1% технологий трёхмерной печати. Можно сказать, что для нашей страны работа в этой отрасли только начинает развиваться. Главными недостатками, препятствующими развитию 3D-технологий в России, является необходимость использования дорогостоящего импортного оборудования, пока не имеющего отечественных аналогов, и отсутствие специализированных образовательных учреждений по подготовке специалистов в этой отрасли. Тем не менее, на отечественных заводах метод 3D-печати применяется при создании и отработке новых сложноконтурных деталей и конструкций, помогающий оценить функциональность и исключить возможность различных ошибок перед серийным производством.

Технология моделирования методом послойного наплавления (FDM - Fuseddepositionmodeling) – это самая распространенная и доступная технология аддитивного производства. Она предполагает создание трехмерных объектов путём нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели. Материалом для печати служат термопластики, представленные в виде катушек нитей или прутков. Среди преимуществ данного метода

следует отметить скорость и простота изготовления моделей, безопасность, экологическая чистота и не токсичность большинства материалов, создание качественных деталей с высокой детализацией сложных геометрических форм и полостей. Широкое использование потенциала трехмерной печати позволит экономить средства и время, а также повысить производительность.

Полилактид, применяемый в технологии FDM, биоразлагаемый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота. Сырьем для производства служат кукуруза и сахарный тростник. Используется для производства изделий с коротким сроком службы: пищевая упаковка, одноразовая посуда, пакеты. Экологичный и биологически совместимый материал для 3D-печати. Он не токсичен, в тканях живого организма подвергается биодеструкции с образованием нетоксичных продуктов. Модели, которые изготавливают из этого вещества недолговечны, и при естественных условиях постепенно разлагаются. Температура печати: 160–230°C, платформы: 60–70°C.

На начальном этапе нашей задачей было определение технологических характеристик данных материалов. Так как ПЛА является гигроскопичным материалом, набирает большое количество влаги из воздуха, его необходимо сушить перед переработкой. И в процессе хранения необходимо держать бобины материала в специальных помещениях с установками по осушению воздуха. Поэтому предварительно были определены показатели водопоглощения ПЛА. Максимально ПЛА набирает влагу в течение 5 часов. Максимальное содержание – 4%, что недопустимо при переработке. Повышение влажности ПЛА способствует резкому увеличению скорости гидролитической деструкции, которая приводит к уменьшению молекулярной массы полимера, уменьшению вязкости расплава. Поэтому допустимая влажность:  $< 0,015 - 0,02 \%$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шутилин Ю.Ф., Щербакова М.С., Хрипушин В.В., Борисова И.А. Изучение характеристик порошков полимеров для 3D-печати // Вестник ВГУИТ, 2017, №4, с. 157–164.
2. Шутилин Ю.Ф. Физикохимия полимеров: Монография. Воронеж: Воронежская областная типография, 2012. 840 с.
3. Hofland E.C., Baran I., Wismeijer D.A. Correlation of Process Parameters with Mechanical Properties of Laser Sintered PA12 Parts // Advances in materials science and engineering Publ., 2017 P. 109–114.

УДК678.049.4

студ. А.С. Заболотняя, магистрант И.А. Борисова  
Науч. рук. доц. М.С. Щербакова  
(кафедра химии и химической технологии органических соединений  
и переработки полимеров, ФГБОУ ВО ВГУИТ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРОШКА ПОЛИАМИДА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В 3D-ПЕЧАТИ**

Селективное лазерное спекание (SLS) — метод аддитивного производства, используемый для создания функциональных прототипов и мелких партий готовых изделий. Принцип создания моделей в SLS принтере отличается тем, что в качестве исходного сырья используется порошкообразный термопластичный материал, который послойно спекается с помощью луча лазера.

Одной из важнейших задач является поиск способа рекуперации дорогостоящего порошка. Изделия, изготовленные из смеси с большим соотношением вторичного порошка теряют свои свойства: их поверхность становится шероховатой (такое явление принято считать появлением апельсиновой корки), повышается хрупкость, появляется вероятность деформации (скручивания) деталей.

Осуществлялись исследования порошка на основе полиамида-12, марки PA2200, модифицированный. Материал представляет собой порошок белого цвета, без запаха.

Были проведены такие исследования, как: дифференциальный термический анализ проводили с помощью установки для дифференциального термического анализа (ДТА); приближенные испытания, в которых оценивали разницу тепловых эффектов при плавлении первичного и вторичного порошков; определение динамической вязкости. Для того, чтобы выяснить, каким образом изменилась температура плавления образцов, нами были проведены исследования изменения показателя текучести расплава.

В результате исследований были получены фотографии микрочастиц порошков. Частицы первичного порошка имеют форму, более приближенную к сферической, в то время, как частицы вторичного порошка укрупнились и приобрели асимметричную форму. Это обусловлено процессами, происходящими при термическом окислении полиамидов: одной из особенностей технологии селективного лазерного спекания является переработка полимера в среде азота при температуре, близкой к температуре плавления порошка.

В атмосфере инертного газа имеются следы кислорода и при высоких температурах происходят окисление и термодеструкция полиамидов, при которых выделяются вода, двуокись углерода и небольшие количества аммиака. Предполагается, что после разрыва связей и присоединения кислорода, молекуле полиамида не удастся вернуться к шарообразному состоянию, частично слипаются и визуально это представляется появлением «наростов» и шероховатости на поверхности. Таким образом, была получена выборка, которая насчитывала более тысячи объектов.

Затем данные подвергались статистической обработке. Если у первичного порошка более 80% приходится на частицы заявленного производителем размера, то у вторичного, после каких-либо превращений, вызванных нахождением в рабочей камере принтера, это количество снижается до 30%.

Можно сделать вывод о фиксируемых различиях в геометрии исследуемых материалов: у вторичного порошка снизилось количество частиц мелкой фракции и появилось большое количество крупных частиц, что свидетельствует об их агломерации. А это может оказывать большое влияние на качество производимой продукции.

Различия геометрических и фракционных характеристик, увеличение степени деструкции вторичного порошка неминуемо окажет влияние и на степени его кристалличности или агрегации макромолекул. Это дает право предположить об изменении термодинамических свойств исследуемых материалов. В результате, были обнаружены пики на дифференциальной кривой в области температур плавления. Это свидетельствует о том, что при плавлении образцы полиамидных порошков ведут себя по-разному.

Гравиметрический анализ. Известно, что некоторые полиамиды обладают высоким показателем влагопоглощения. Учитывая, что полиамидные материалы, предназначенные для изготовления изделий методом 3D-печати, хранятся в негерметичной таре, а также претерпевают многократные перепады температур от комнатной до рабочей температуры принтера (175°C), можно предположить, что в порошке содержится большая доля влаги. В таком случае, это окажет негативное влияние на точность измерений ПТР.

Для определения влаги в образцах полиамидных порошков, был проведен гравиметрический анализ. Потери массы не превышают 0,25%, что совпадает с заявленным производителем влагопоглощением. Можно сделать вывод, что гигроскопичность

полиамидных порошков не оказывает значительного влияния на проведенные исследования показателя текучести расплава и ею можно пренебречь.

Определение динамической вязкости. Одним из выводов, при анализе полученных результатов, является увеличение температуры, необходимой для плавления вторичного порошка. Так же полученные данные являются косвенным доказательством агломерации частиц вторичного порошка.

Определение степени кристалличности. Изменение степени кристалличности подразумевает не полный переход из аморфного состояния в кристаллическое, а изменение соотношения различных фаз (которых в полимерах насчитывают до 7). Увеличение степени кристалличности у переработанного полимера считается аномалией. Но нарушение такой тенденции обусловлено особенностями технологии селективного лазерного спекания: после завершения процесса печати, принтер остывает в течение 10 часов. Медленное остывание под собственным весом необходимо для того, чтобы избежать деформации изделий.

Таким образом, продолжительное нахождение порошка в камере при температуре, близкой к температуре плавления, а затем длительное охлаждение до комнатной температуры представляет собой идеальные условия для роста кристаллической фазы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шутилин Ю.Ф., Щербакова М.С., Хрипушин В.В., Борисова И.А. Изучение характеристик порошков полимеров для 3D-печати // Вестник ВГУИТ., 2017, №4, с. 157–164.
2. Mengxue Y., Chang Z., Xiaoyong T. Design and Selective Laser Sintering of complex porous polyamide mould for pressure slip casting // Materials & Design Publ., 2016., P. 198–205.
3. Mys, N., Verberckmoes A., Cardon L. Processing of Syndiotactic Polystyrene to Microspheres for Part Manufacturing through Selective Laser Sintering // Polymers Publ., 2016, P. 11–15.
4. Kumaresan, T., Gandhinathan R., Ramu M. Design, analysis and fabrication of polyamide/hydroxyapatite porous structured scaffold using selective laser sintering method for bio-medical applications // Journal of mechanical science and technology Publ., 2016. P. 5305–5312.
5. Miron-Borzan C.S., Dudescu M.C., Abd Elghany K. Analysis of Mechanical Properties of Selective Laser Sintered Polyamide Parts Obtained on Different Equipment // Materiale plastice Publ., 2015. P. 39–42.

УДК678.04

студ. Д.В. Тесленко  
 Науч. рук. проф. О.В. Карманова  
 (кафедра химии и химической технологии органических соединений и  
 переработки полимеров, ВГУИТ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ НАБУХАНИЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, НАПОЛНЕННЫХ БЕНТОНИТОМ

В настоящее время актуальность приобретают исследования, направленные на создание набухающих полимеров. Разновидностью таких материалов являются уплотняющие элементы зданий, полимерной основой которых является каучук, а наполнителем – бентонит. Принцип действия таких материалов основан на свойствах бентонита набухать в воде: при контакте с водой наполненный бентонитом эластомер разбухает [1].

Целью работы явилось исследование объемного набухания эластомеров. Образцы для испытаний получали на основе бутадиен-стирольного каучука и бентонита Хакасского месторождения (табл.), концентрация обменных катионов в 100 г сухого вещества которого находится в пределах 57,2–66,3 мг-экв.

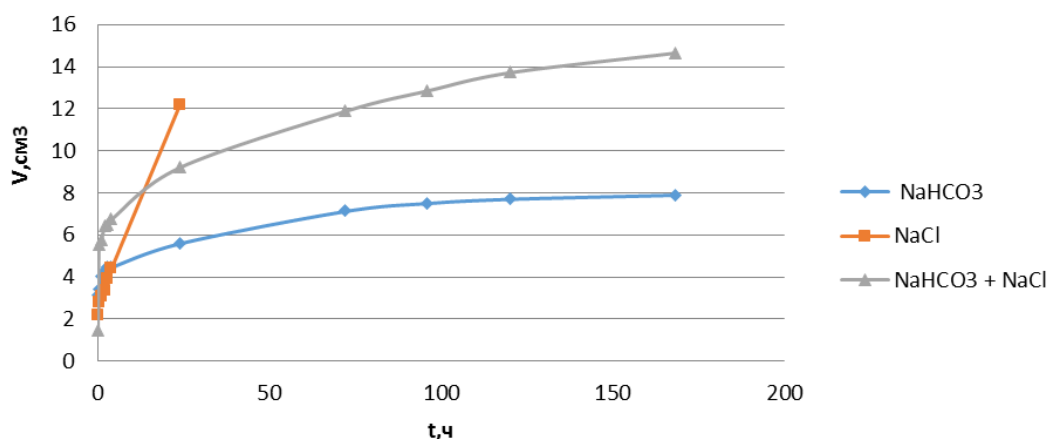
**Таблица – Характеристика применяемого бентонита**

Средний химический состав							Влажность, %
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
59,7	18,6	3,9	2,8	2,4	1,6	1,0	10,2

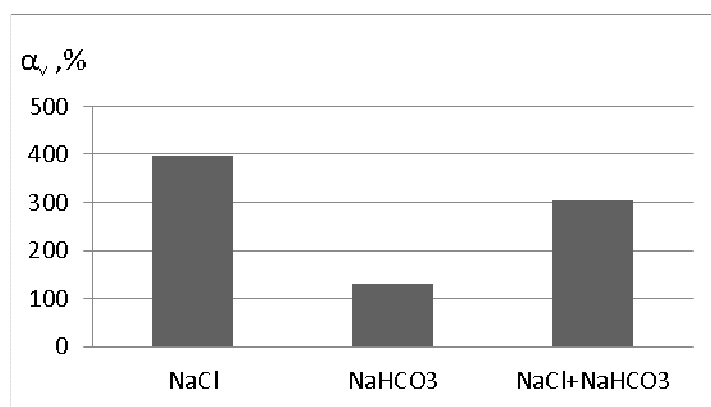
Для улучшения свойств бентонитовых порошков проводили их активацию – обогащали катионами более подвижного элемента [2]. В данной работе осуществляли активацию бентонита сухим способом: путём механического перемешивания активаторов с бентонитом и последующей вылежкой в течение 24 ч. Активация в этом случае происходит за счёт естественной влажности бентонита. Для активации бентонита в него вводили вещества, содержащие катион Na<sup>+</sup>: NaCl или NaHCO<sub>3</sub> в количестве 3 % мас., а также их комбинацию с общим содержанием – 4 % мас.

Изготовление композиций проводили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 с фрикцией 1:1,14 при температуре 60±5 °С.

Экспериментальные образцы выдерживали в минерализованной и пресной воде в течение 7 суток. Набухание оценивали по изменению объема образцов после выдержки в воде.



**Рисунок 1 – Изменение объема образцов в ходе набухания в пресной воде**



**Рисунок 2 – Степень набухания образцов в минерализованной воде**

Анализ данных (рисунок 1, 2) показал, что после активации бентонита набухание композиций увеличивается с 25 % до 175 %. Обоснованы дозировки бентонита и соотношения активаторов, обеспечивающие лучшие характеристики. Определен состав набухающей эластомерной композиции с содержанием 200 мас.ч бентонита, активированного комбинацией NaCl и NaHCO<sub>3</sub>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карманова О.В., Москалев А.С., Шутилин Ю.Ф., Власова Л.А. Эластомерные невулканизованные гидроизоляционные материалы строительного назначения // Вестник ВГУИТ. – 2016. – №4. – С.233–238.
2. Черников А.И., Шутилин Ю.Ф., Игуменова Т.И. Разработка рецептуры водонабухающего герметика // Каучук и резина. – 2009. – №4. – С.32–34.



УДК678.04

студ. А.А. Чвирова, А.Д. Никифорова

Науч. рук. проф. О.В. Карманова

(кафедра химии и химической технологии органических соединений  
и переработки полимеров, ВГУИТ)

## **МОДИФИКАЦИЯ АДГЕЗИОННЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПРОПИТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ**

Проблема повышения адгезии текстильных материалов к резине является актуальной задачей, так как обеспечивает прочность связи в резиноканевых композитах и эксплуатационные характеристики изделий на их основе. В настоящее время в качестве текстильных армирующих материалов используются технические ткани на основе натуральных и синтетических волокон. Повышение прочности связи технических тканей к резине можно достичь путем введения в состав резиновых смесей специальных промоторов адгезии, а также обработкой поверхности армирующих материалов адгезионно активными составами.

В качестве объектов исследования использовали технические ткани на основе полиамидных волокон. Для пропитки тканей использовали состав на основе бутадиен-нитрильного латекса, в который вводили модификатор. Формальдегидный модификатор получали в лабораторных условиях. Пропиточный состав готовили путем растворения в латексе модификатора при разных концентрациях последнего: 10, 15, 25 %. Пропитку тканей осуществляли при комнатной температуре в течение 1, 3, 5 минут. Образцы пропитанных тканей подвергали трехступенчатой сушке при температурах 105–135 °С до постоянной массы. Эффективность пропитки оценивали по привесу ткани после сушки. Установлено, что с привес ткани возрастает с увеличением концентрации раствора модификатора, но мало зависит от времени пропитки. Отмечено уменьшение усадки тканей с увеличением концентрации пропиточного раствора при продолжительности пропитки 1 минута и увеличение данного показателя при продолжительности 3 и 5 минут. Для обрешивания технических тканей использовали резиновую смесь на основе бутадиен-нитрильного каучука.

При анализе адгезионных свойств системы «резина-пропитанная ткань» установлено, что прочность связи повышается с увеличением продолжительности пропитки и снижается при повышении температуры сушки выше 110°С. Улучшение свойств резиноканевого композита можно достичь за счет подбора оптимальных параметров обработки тканей.

УДК 665.662.37

Студ. Е.М. Осипенок

Науч. рук. доц. А.И. Юсевич

(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, БГТУ)

## **ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ ИМИДАЗОЛИНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Нефть, извлекаемая из недр, может содержать в своем составе до 80 – 90 мас. % минерализованной воды. Это считается основной причиной возникновения ряда осложнений, одним из которых является проблема коррозионного разрушения нефтепромыслового оборудования.

Основными факторами протекания коррозионного процесса являются физико-химические свойства среды, характер распределения отдельных фаз друг в друге, явления смачивания на различных границах раздела, влияние депполяризаторов –  $H_2S$  и  $O_2$ . Депполяризаторы представляют собой окислители, которые восстанавливаются на поверхности металла, что приводит к растворению самого металла [1].

Коррозия приводит к заметному сокращению срока службы оборудования, к частым аварийным разливам нефти и отделяемой от нее минерализованной воды, что, в конечном счете, ведет к загрязнению окружающей среды.

Для борьбы с коррозией используют ингибиторы, которые являются наиболее эффективным и экономичным методом защиты оборудования. Ингибитор позволяет стабилизировать процесс эксплуатации нефтехимического оборудования, применять наиболее доступные конструкционные материалы, сократить простои, связанные с ремонтом оборудования, избежать экологических бедствий в районе эксплуатации оборудования и трубопроводной системы.

Вещества, способные в малых количествах замедлять протекание химических процессов, а также останавливать их называются ингибиторами. Ингибирующее воздействие на металлы, прежде всего на сталь, оказывает целый ряд неорганических и органических веществ, которые добавляются в среду, вызывающую коррозию. Они обладают свойством создавать на поверхности металла очень тонкую пленку, защищающую металл от коррозии. К ингибиторам коррозии предъявляются определенные требования [2]:

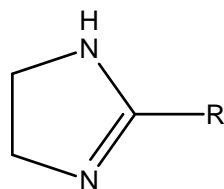
1) ингибитор должен обеспечить требуемое защитное действие как при обычных условиях, так и при высоких давлениях и температурах, а также в условиях высоких скоростей потока и наличия в нем абразивных частиц;

2) ингибитор должен обладать низкой температурой застывания (не более  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), хорошей растворимостью в коррозионной среде и высокой адсорбционной способностью;

3) ингибитор не должен влиять на стабилизацию водонефтяных эмульсий.

Эффективным ингибирующим действием обладают органические соединения, которые содержат атомы или функциональные группы, увеличивающие адсорбционную способность на поверхности металла. Такими активными группами могут быть азот-, серо-, кислород- и фосфорсодержащие группы, которые адсорбируются на металле благодаря донорно-акцепторным и водородным связям. Наиболее широко распространенными являются ингибиторы на основе азотсодержащих соединений.

В качестве ингибиторов коррозии могут применяться производные имидазолинов, представляющие собой гетероциклическое соединение с двумя атомами азота и остатком жирной кислоты:



За счет неподеленной электронной пары на атоме азота и вакантной орбитали у атома железа, который является акцептором, а азот, таким образом, является донором электронов, формируется адсорбционный слой молекул. Адсорбционный слой создает на поверхности металла защитную пленку, которая препятствует коррозионному процессу. Защитная пленка формируется в два слоя, где первый слой представляет собой сплошную пленку, а затем формируется второй полимолекулярный слой. Главной функцией второго слоя является восполнение потерь ингибитора на первом слое, что способствует высоким защитным свойствам ингибитора коррозии [3].

Имидазолиновые соединения относят к ингибиторам коррозии смешанного типа, поскольку снижают скорость анодного растворения железа и катодного восстановления водорода. Известен ряд эффективных ингибиторов коррозии: АМДОР ИК-6, представляющий

собой смесь 10% аминопарафина и 10% алкилимидазолина в комплексном апротонном растворителе; АМИК-2, представляющим собой смесь полиаминоамидов с полиаминоимидазолинами (20%) и неололом (5%); ингибитор коррозии производства фирмы Baker Petrolite (в состав входит 30–60% моноэтиленгликоля, 10–30% солей имидазолинов и 1–5% меркаптоэтанола) и т.д. [4, 5]

Имидазолиновые соединения обладают высокими защитными свойствами, что подтверждает использование их в качестве компонента в ряде представленных ингибиторов. Недостатками имидазолиновых ингибиторов коррозии является снижение эффективности при хранении. Наблюдается выпадение осадка, ухудшение растворимости и снижение защитной способности ингибитора после 6 месяцев хранения на складе. Причиной изменения свойств ингибитора является гидролиз имидазолина. Выпадению осадков способствует образование продуктов, имеющих высокую молекулярную массу, которые приводят к расслоению. Основной проблемой подбора ингибиторов коррозии является различие свойств добываемых нефтей, поскольку в зависимости от места, а также глубины залегания нефти химический состав её может колебаться в широких пределах. Поэтому необходимо разрабатывать новые ингибиторы коррозии, которые могли бы обеспечить высокие защитные свойства.

Изучение имидазолиновых соединений позволит получить различные эффективные ингибиторы коррозии, свойства которых будут определяться природой заместителей в молекуле. Изучая особенности этих заместителей, а также их влияния на ингибирующие свойства, можно улучшать свойства известных ингибиторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Составы ингибиторов коррозии для различных сред / А.Р. Фархутдинова [и др.]. – Вестник Казанского технологического университета, 2013. – Т.16, №4. – с. 272–276.

2. Исследование неклассических катионных ПАВ как компонентов ингибитора коррозии / Н. И. Мукалдисов, А. Р. Фархутдинова, А.А. Елпидинский. – Вестник Казанского технологического университета, 2013. – Т.16, №14 – с. 212–214.

3. Азотсодержащие ингибиторы сероводородной коррозии стали / Б. Д. Буркитбаева. – Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, 2007. – №6. – с.38–43.

4. Разработка технологии получения имидазолинов – ингибиторов коррозии / А. Д.Бадикова [и др.] – Нефтехимия, 2016. – Т.56, №4. – с. 419–424.

5. Особенности поведения амидоимидазолиновых ингибиторов коррозии в водно-углеводородных средах / А.И. Алцыбеева [и др.] – Коррозия: материалы, защита, 2006. – №1. – с. 25–31.

УДК 665.662.37

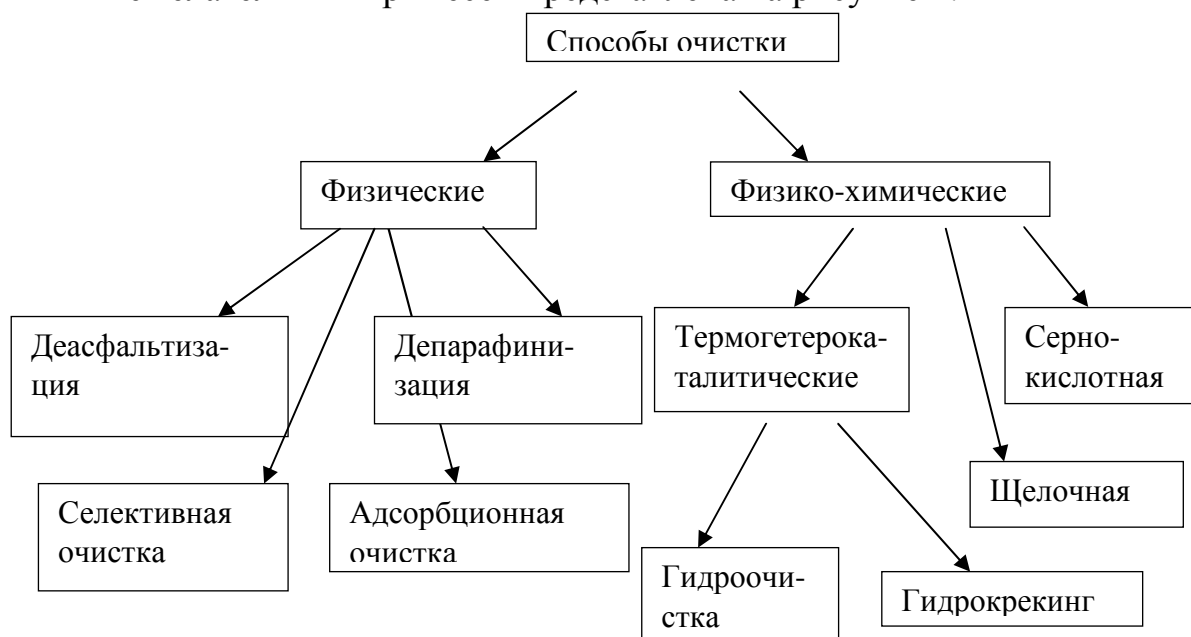
Студ. О.А. Ушева

Науч. рук. проф. Е.И. Грушова

(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, БГТУ)

### ПРИМЕНЕНИЕ СОЭКСТРАГЕНТА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНА В ПРОЦЕССЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ МАСЕЛ

Получение товарных масел из нефтяного сырья представляет собой многостадийный процесс, в основе которого лежат физические и физико-химические способы очистки масляных дистиллятов и гудронов. Классификация способов очистки нефтяного сырья от нежелательных примесей представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Способы очистки масляных дистиллятов и гудрона от нежелательных примесей**

Использование в настоящее время для очистки гидрогенизационных процессов способствует получению базовых масел с высокими вязкостно-температурными свойствами, не утратили своего значения и процессы экстракционной очистки. Последние основаны на растворимости

компонентов нефтяного сырья в различных растворителях. Основными промышленными растворителями селективной очистки являются фенол, фурфурол и N-метилпирролидон, среди которых наиболее перспективным является N-метилпирролидон. В таблице 1 приведены показатели технологической и экстракционной эффективности указанных растворителей.

**Таблица 1 – Технологическая и экспериментальная эффективность растворителей**

Показатель	Фенол	Фурфуро л	N-метил- пирролидон
Кратность растворителя к сырью, масс%	100-115	130	100
Удельные энергетические затраты: -на регенерацию 1 кг растворителя, кДж/кг: -на единицу продукции, %	746	629	750
	107	114-118	100
ПДК растворителя: -в воздухе рабочей зоны; мг/м <sup>3</sup> : -в воде водоемов, мг/л	0,3	5	100
	0,001	0,05	0,5
Производительность установки селективной очистки, %: -по сырью -по рафинату	87-100	64-77	100
	83-93	64-72	100

Перспективным направлением улучшения эффективности работы установок селективной очистки является использование малых количеств модифицирующих добавок (соэкстрагентов) к растворителю. Известно, что такой вид воздействия на растворитель любой природы может повлиять на выход и качество рафината [2, 3].

В указанной работе представлены результаты очистки высоковязкого вакуумного дистиллята ВД-4 от низкоиндексных компонентов (смола, полициклических ароматических соединений с короткими боковыми цепями, гетеросодержащих соединений) N-метилпирролидоном, содержащим в качестве соэкстрагента циклогексанол.

Селективную очистку проводили по известной методике [4] при 50°C и кратности растворителя к сырью равной 3:1. В таблице 2 приведены результаты эксперимента. Содержание соэкстрагента циклогексанола в растворителе составляло 0,5; 1,5; 3,0 мас. %

Согласно данным, приведенным в таблице 2, очистка вакуумного дистиллята ВД-4 (получен в ОАО «Нафтан», г.

Новополоцк) N-метилпирролидоном, содержащим в качестве соэкстрагента циклогексанол, обеспечивает более эффективную очистку нефтяного сырья от нежелательных соединений. Во-первых, увеличивается выход рафината с 55 мас.% до 56,6 мас.%, т.е. уменьшаются потери масла. Масло получается чище, т.к. показатель преломления снижается. Улучшается несколько вязкостно-температурная характеристика  $\nu_{60}/\nu_{80}$ .

**Таблица 2 – Результаты селективной очистки**

Растворитель	Рафинат				
	Выход, мас%	$n_D^{50}$	Вязкость, сСт		$\nu_{60}/\nu_{80}$
			при 60°C	при 80°C	
N-метилпирролидон	55	1,4855	51,74	23,75	2,18
N-метилпирролидон+ циклогексанол (0.5 мас%)	55,1	1,4852	51,34	23,46	2,19
N-метилпирролидон+ циклогексанол (1.5 мас%)	56,1	1,4847	50,84	23,20	2,19
N-метилпирролидон+ циклогексанол (3.0 мас%)	56,6	1,4840	50,19	22,65	2,22

Достижимые результаты при очистке масляных фракций не требуют существенных изменений базовой (промышленной) технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Капустин В.М. Технология переработки нефти: учебное пособие. В 4-х частях. Часть третья. Производство нефтяных смазочных материалов./ В.М. Капустин, Б.П. Тонконогов, Н.Г. Фукс.- М.: Химия, 2014. –328с.

2. Грушова Е.И. Влияние природы сырья на эффективность селективной очистки масляных фракций N-метилпирролидоном, содержащим соэкстрагент / Е.И. Грушова [и др.] //Труды БГТУ. Сер.4. Химия и технология органических веществ. – Минск, 2006. –Вып. XIV, с. 39–41.

3. Грушова Е.И. Применение соэкстрагентов для интенсификации селективной очистки масляных дистиллятов фенолом / Е.И. Грушова, А.И. Юсевич // Материалы научно-практической конференции нефтегазопереработка и нефтехимия-2007. Уфа 22-25 мая, 2007 г.: научная статья. //Ассоциация нефтепереработчиков и нефтехимиков, ОАО «Уфанефтехим», ГУП «Институт нефтепереработки РБ»,-Уфа,2007. – с.121–122.

4. Грушова Е.И., Талерко Е.С., Способ очистки минеральных масел: пат.7236 Республика Беларусь: №а20020324; заявление 17.04.02; опубл. 30.09.05 Афіцыйны бюл.2005. №3. 2с.

УДК 665.775.4

магистрант Б.Ж. Хаппи Вако, студ. Ю.А. Степанович  
Науч. рук. асс. А. О. Шрубок  
(кафедра нефтепереработки и нефтехимии, БГТУ)

### **МОДИФИКАЦИЯ НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ ХИМИЧЕСКИМИ ОТХОДАМИ**

Нефтяные битумы благодаря ряду ценных эксплуатационных свойств и увеличивающимся масштабам производства являются одними из наиболее широко используемых в строительной индустрии продуктов нефтепереработки, особенно в дорожном строительстве. На сегодняшний день во многих странах СНГ свойства выпускаемых битумов не соответствуют требованиям современного рынка по ассортименту и качеству. Данная проблема вызывает необходимость поиска новых способов повышения качественных показателей битумных вяжущих, расширения температурного интервала их работоспособности за счет повышения теплостойкости, обеспечения надежности и долговечности покрытия на основе битума.

Анализ современной научно-технической информации, посвящённой способам улучшения физико-химических и эксплуатационных свойств битумов, показал, что одним из целесообразных способов повышения качественных характеристик битумных вяжущих является использование модификаторов [1]. Наиболее известными и эффективными модификаторами являются сера, стирол-бутадиен-стирол (СБС), каучук, этиленвинилацетат (EVA), различные полимеры (эластомеры, термопласты) [2, 3]. Однако использование таких модификаторов требует применение дорогостоящего оборудования для равномерного распределения модификатора в объеме битума и значительно увеличивают стоимость конечного битумного вяжущего.

В связи с вышеизложенным, представляют интерес исследования, направленные на поиск новых доступных материалов для получения битумных вяжущих с улучшенными показателями качества. Такими материалами могут служить различные побочные продукты и отходы химических производств. Одним из таких отходов производства является катализаторный шлам производства



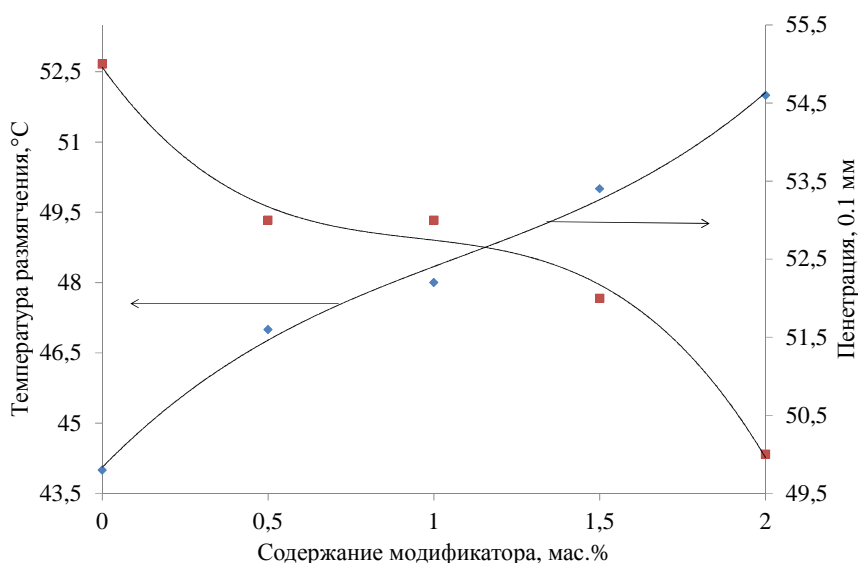
капролактама, который содержит металлы переменной валентности, обладающие каталитической активностью в процессах окисления углеводородов.

Целью данной работы являлось исследование влияния отхода производства капролактама на физико-химические и эксплуатационные свойства битумов и изучение возможности применения данного отхода как компонента битумного вяжущего.

Модификатор – отход производства капролактама, вводили в количестве 0,5–2,0 мас.% в предварительно подготовленный битум при интенсивном перемешивании и температуре 80°C.

Для полученных битумных вяжущих были определены следующие качественные показатели: глубина проникания иглы, температура размягчения по кольцу и шару, температура хрупкости, устойчивость к термоокислительному старению, индекс пенетрации, сцепляемость с минеральным наполнителем, структурно-групповой состав.

Введение модификатора в нефтяной битум приводит к возрастанию температуры размягчения и снижению пенетрации. При этом изменение пластичных свойств битумных вяжущих пропорционально увеличению концентрации модификатора в нефтяном битуме (рисунок).



**Рисунок – Зависимость температуры размягчения и пенетрации от содержания модификатора в битумном вяжущем**

Изменение пластичных свойств битумных вяжущих также оказывает влияние и на их чувствительность к высоким температурам. Введение отхода производства капролактама в нефтяной битум приводит к резкому изменению индекса пенетрации, что свидетельствует о перестройке структуры нефтяной дисперсной

системы битумного вяжущего. Как известно [1], битумы с индексом пенетрации от минус 1,0 до 1,0 характеризуются высоким качеством и наиболее пригодны для дорожного строительства. Применение отхода производства капролактама как компонента битумного вяжущего позволяет увеличить индекс пенетрации битума от минус 1,39 (исходный битум) до 0,83–0,99 (битум с модификатором), т.е. улучшает температурную чувствительность и структурно-реологический тип получаемого битумного материала.

Исследование термоокислительной стабильности битумных вяжущих показало, что введение отхода производства капролактама ухудшает термоокислительные свойства битумных материалов, что обусловлено, вероятно, катализом процессов окисления углеводородов в тонкой пленке битума металлами переменной валентности, входящих в состав отхода.

Наблюдаемый эффект свидетельствует о том, что используемый модификатор выступает в роли инициатора окисления, в связи с чем, наиболее целесообразно применение отхода производства капролактама в качестве каталитической добавки в процессах окисления углеводородного сырья.

В результате исследования адгезии битумного вяжущего с минеральным наполнителем (гранитом) установлено, что введение в нефтяном битум отхода производства капролактама в количестве до 2,0 мас.% не приводит к значительному изменению адгезионных свойств битума с гранитом.

Таким образом, исследование влияния отхода производства капролактама на физико-химические и эксплуатационные свойства битумных вяжущих позволило установить, что увеличение количества введенного модификатора приводит к возрастанию температуры размягчения, индекса пенетрации, снижению пенетрации и термоокислительной стабильности получаемых битумных вяжущих, и практически не влияют на их адгезионные свойства. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение отхода производства как компонента битумного вяжущего позволяет регулировать пластичные свойства получаемых битумных материалов и снизить затраты на их производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы / Р. Б. Гун. – М. : Химия, 1989. – 432 с.
2. Соломенцев, А. Б. Классификация и номенклатура модифицирующих добавок для битума / А. Б. Соломенцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 1. – С. 14–16.

3. Дорожные битумы с модифицирующими добавками / Котов С. В. [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – №3. – С. 52–53.

УДК 665.775.5

студ. Ю.А. Степанович, магистрант Б.Ж. Хаппи Вако  
Науч. рук. асс. А.О. Шрубко  
(кафедра нефтепереработки и нефтехимии, БГТУ)

### **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

Битумные эмульсии (БЭ) – вязущий и пленкообразующий материал, представляющий собой однородную маловязкую жидкость темно-коричневого цвета, состоящую из битума и воды, для совмещения которых необходимо вводить специальные добавки – эмульгаторы (катионные и анионные ПАВ), кислоты и щелочи. Главным преимуществом применения битумных эмульсий перед битумом является экономия ресурсов и энергозатрат. При этом общая себестоимость работ снижается за счет увеличенного срока эксплуатации битумной эмульсии в погодных условиях от весны и до поздней осени. Кроме этого технология использования битумной эмульсии для создания дорожного покрытия является экологически чистой, нет необходимости использовать органические растворители. Битумная эмульсия повышает эластичность, прочность, адгезивные характеристики поверхностного слоя автомобильных дорог [1].

При этом, наряду с достоинствами использования БЭ, их применение ограничено следующими недостатками:

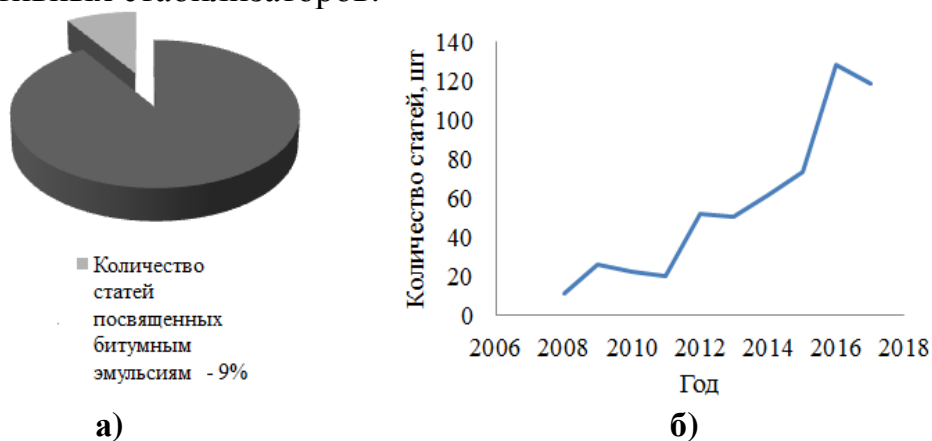
1) низкая агрегативная устойчивость, что сказывается на длительности хранения эмульсии;

2) использование в качестве эмульгаторов катионных и анионных ПАВ, что требует применения кислот или щелочей соответственно для перевода ПАВ в активную форму.

Преимущества применения битумных эмульсий обуславливают актуальность исследования новых составов, а также совершенствования технологий их получения.

Анализ научно-технической информации показал, что количество статей, посвященных битумным эмульсиям, составляет 9% от количества статей, посвященных битумным материалам (рисунок а). При этом количество статей, посвященных битумным

эмульсиям, возрастает ежегодно (рисунок б). При этом с 2015 г. интерес к этой теме заметно увеличился, что может свидетельствовать об актуальности темы и ее практической значимости в нынешних условиях. По состоянию на апрель 2018 г., количество статей уже составляет 62. Основными направлениями исследований являются совершенствование процесса диспергирования и подбор более эффективных стабилизаторов.



**Рисунок – Количество статей, посвященных битумным эмульсиям:**  
**а) от общего количества по битумным материалам**  
**б) по годам**

Приготовление анионных и катионных эмульсий может осуществляться по двум технологическим схемам. По первой схеме эмульгатор и щелочь (или кислоту) вводят в воду, готовят раствор определенной концентрации, а затем подают его и битум в определенных соотношениях в диспергатор, где происходит образование эмульсии. По второй схеме эмульгатор вводят в битум, щелочь (или кислоту) – в воду, а затем эти компоненты поступают в диспергатор. Для эмульгирования битума широко применяются следующие способы: эмульгирование при помощи лопасной мешалки (ЛМ), эмульгирование при помощи ультразвука (УЗ), эмульгирование при помощи коллоидной мельницы (КМ). Первый способ является более простым, однако, менее эффективным. Второй и третий способы в настоящее время хорошо зарекомендовали себя в процессах производства БЭ [2].

В работе [2] была показана возможность комбинирования трёх способов эмульгирования. Так, при комбинировании УЗ и ЛМ, происходит увеличение устойчивости полученных эмульсий. Такой способ эмульгирования позволяет получать БЭ с устойчивостью к разложению на 10–15% выше, чем БЭ, полученную при использовании УЗ. Также повышение устойчивости наблюдалось при использовании КМ с последующей обработкой ультразвуком. К недостаткам таких способов эмульгирования можно отнести

дополнительные затраты энергии и высокие затраты на аппаратурное оформление процесса.

Для устранения выявленных недостатков процесса эмульгирования с помощью КМ предложено увеличить сопротивление отходящему из КМ потоку продукта за счет сужения выходного отверстия или установить дополнительное устройство смещения на выходе из аппарата.

Перспективными технологиями приготовления БЭ является использование ультразвука. Так, в работе [3] было исследовано влияние ультразвука на вязкосные свойства битумных эмульсий. Установлено, что применение ультразвука может обеспечивать сверхтонкое диспергирование (нереализуемое другими способами), увеличивая межфазную поверхность реагирующих элементов. Чем больше время обработки ультразвуком, тем дольше сохраняется данный эффект.

Анализ существующих способов эмульгирования битума показал, что достаточная степень диспергирования обеспечивается за счет использования ультразвукового способа диспергирования, однако такие эмульсии малостабильны во времени. Для получения устойчивых битумных эмульсий рекомендуется использовать коллоидную мельницу в совокупности с ультразвуковым диспергатором. При чем воздействие ультразвука на эмульсию должно быть непосредственно перед ее применением.

Получение стабильных битумных эмульсий также возможно за счет разработки новых составов эмульсий или применения различных модифицирующих добавок как к битумам, так и к самой битумной эмульсии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Битумные материалы в дорожном строительстве. Применения водо-битумных эмульсий / Г.К. Бикмухаметова [и др.] // Вестник технологического университета. – 2015. – №20. – С. 128–131.
2. Будник, В.А. Исследование и разработка способов получения нефтяных битумных эмульсий: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: / В.А. Будник; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2009. – 24 с.
3. Изучение стабильности во времени влияния ультразвука на вязкость водо-битумных эмульсий / А.И. Абдуллин [и др.] // Нефтегазопереработка и нефтехимия. – 2016. – №2. – С. 40–43.

УДК 665.775.5

студ. Е.В. Китаева

Науч. рук. зав. кафедрой А.И. Юсевич

(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, БГТУ)

## **ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗОМЕРИЗАЦИИ ЛЕГКИХ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ**

Тенденции развития автомобильного транспорта таковы, что к моторным топливам предъявляют все более жесткие экологические и эксплуатационные требования. Так, для соответствия выхлопа двигателей внутреннего сгорания экологическому стандарту ЕВРО-5 в автобензине ограничивается содержание серы (до 10 ppm), бензола (до 1%), ароматических углеводородов (до 35%), олефиновых углеводородов (до 14%). Сера при сгорании бензина взаимодействует с кислородом воздуха, образуя оксиды серы, которые с водяными парами дают серную и сернистую кислоты, вызывающие коррозию металлических конструкций и загрязняющие окружающую среду. Касательно бензола можно сказать, что чем его больше, тем более токсичным является бензин и продукты его сгорания, кроме того, ароматические углеводороды увеличивают нагарообразование в двигателе. Олефиновые углеводороды являются химически нестабильными, что обуславливает сильное изменение свойств топлива в процессе хранения. С другой стороны ароматические углеводороды, а также алкены увеличивают детонационную стойкость бензина, поэтому уменьшение их содержания в топливе приведет к снижению его октанового числа.

Решением данной проблемы является производство неароматических высокооктановых компонентов, среди которых наибольшее распространение получили изомеризаты вследствие их относительно низкой себестоимости и доступности сырья. Рассмотрим более подробно основные тенденции развития процессов изомеризации парафиновых углеводородов, позволяющие повысить октановое число бензина.

1. Оптимизация состава сырья для процесса изомеризации. Одним из способов улучшения состава сырья, подаваемого на изомеризацию, является подбор оптимальных режимов работы колонн блока стабилизации и вторичной ректификации бензина установок первичной переработки нефти, позволяющих увеличить содержание n-алканов и уменьшить содержание циклогексана и метилциклопентана во фракции

н.к.–62°C. Известно также, что повышенное содержание углеводородов состава C<sub>7</sub> в сырье изомеризации приводит к протеканию экзотермических реакций гидрокрекинга и дезактивации катализатора, снижению октанового числа и выхода целевых продуктов. Поэтому рекомендуют понижать температуру низа колонн вторичной перегонки бензина, что приведет к снижению содержания не только н-гептана, но и метилциклопентана во фр. н.к.–62°C. Последний помимо отравляющего действия в отношении катализатора снижает глубину конверсии н-пентана. Описанные меры позволяют повысить октановое число получаемого изомеризата на 1,5–2,5 п. в зависимости от состава перерабатываемого сырья [1].

2. Изомеризация фракции C<sub>7</sub>. В процессе ректификации широкой бензиновой фракции можно получить три составляющие фракции:

н. к.–62°C (сырье процесса изомеризации), 105–180 °C (сырье процесса каталитического риформинга) и 62–105°C (сырье процессов каталитического риформинга или изомеризации). При изомеризации фракции 62–105°C не образуются бензол и толуол, что позволяет существенно снизить содержание ароматических углеводородов в товарном бензине (на 5–10 мас. % в зависимости от состава сырья и доли риформата в товарном бензине) [2]. Однако при изомеризации гептановой фракции по схеме «за проход» с использованием алюмоплатинового катализатора получается продукт с низким октановым числом (70–74 (ИМ)). Для сравнения, при изомеризации парафинов-C<sub>5</sub>–C<sub>6</sub> в аналогичных условиях октановое число составляет 80–84 (ИМ). Повысить октановое число изомеризата C<sub>7</sub> позволяет процесс «Изомалк-4», разработанный ООО «НПП Нефтехипроект». Процесс основан на применении катализатора СИ-4, обеспечивающего протекание селективной изомеризации гептановой фракции с образованием смеси диметилпентанов и 2,2,3-триметилбутана при температуре 150–200°C. Такой температурный интервал является благоприятным, т. к. подавляются побочные реакции гидрокрекинга (образование пропана и бутанов) и дегидрирования нафтенос C<sub>6</sub>–C<sub>7</sub> до ароматических углеводородов. Кроме того, катализатор не требует подачи дополнительных реагентов и обладает высокой стабильностью и устойчивостью к каталитическим ядам. Применение схемы «Изомалк-4» с рециркуляцией малоразветвленных гептанов позволяет увеличить октановое число изомеризата до 83–85 (ИМ).

3. Переход на сульфатированные оксидные катализаторы. Одними из наиболее распространенных на сегодняшний день катализаторов являются промотированные хлором алюмоплатиновые катализаторы. Эти катализаторы относятся к низкотемпературным (110–180°C).

Представляют собой η-оксид алюминия с большой удельной площадью поверхности и нанесенным хлором в количестве до 10–12%. Предусматривается ввод 0,2–0,3% платины для обеспечения стабильности, а также хлорсодержащих соединений – для поддержания высокой активности катализатора. Хлорированные катализаторы наиболее активны и обеспечивают самый высокий выход и октановое число изомеризата C<sub>5</sub>–C<sub>6</sub>. К недостаткам можно отнести высокую чувствительность данного катализатора к каталитическим ядам (вода, серосодержащие и азотсодержащие соединения), а также необходимость в щелочной промывке кислых отходящих газов от органического хлорида в специальных скрубберах. Главными лицензиарами этого процесс являются: UOP (США), Axens (Франция), НПФ «Олкат» (НИП-ЗА, Россия), ОАО «ВНИИНефтехим» (ИП-05, Россия).

Касательно цеолитных катализаторов можно сказать, что они менее активны и дают сравнительно низкие октановые числа изомеризата. Но с другой стороны они обладают высокой устойчивостью к отравляющим примесям в сырье и способны к полной регенерации. Относятся к среднетемпературным катализаторам (250–300°С). Основными лицензиарами процессов изомеризации на цеолитных катализаторах являются: UOP (HS-10), Axens (IP-632), Sud Chemie (Hysopar, Германия), НПФ «Олкат» (СИП-2А), ОАО «ВНИИНефтехим» (ИПМ-02).

Сульфатированные оксиды металлов в качестве катализаторов в последнее время привлекают повышенный интерес, так как они сочетают в себе основные достоинства среднетемпературных и низкотемпературных катализаторов: активны и устойчивы к действию каталитических ядов, способны к регенерации. Данные катализаторы обеспечивают глубокое превращение нафтеновых углеводородов и низкую диспропорционирующую активность, а это, в свою очередь, приводит к уменьшению рециклов и содержания низкооктановых компонентов в кубе колонны. Единственным недостатком, аналогичным и для цеолитных катализаторов является необходимость в компрессоре для подачи циркулирующего ВСГ. Основными же разработчиками катализаторов на основе сульфатированных оксидов циркония являются UOP (технология Par-Isom, PI -242 и LPI-100) и ООО «НПП Нефтехим» (Изомалк-4, Россия).

4. Повышение октанового числа изомеризата за счет оптимизации рециклов. Сравним существующие схемы переработки пентан-гексановой фракции по октановому числу и выходу получаемого в процессе низкотемпературной изомеризации продукта на примере технологии «Изомалк-2» ООО «НПП Нефтехимпроект». Условия



работы реактора:  $T=120-180^{\circ}\text{C}$ ,  $P=3-3,5$  МПа, кратность циркуляции водорода  $450-500 \text{ нм}^3/\text{м}^3$ . Для удобства данные сведем в таблицу.

**Таблица – Сравнение технологических схем процесса «Изомалк-2» [3]**

Схема процесса изомеризации фракции $C_5-C_6$	Октановое число изомеризата в чистом виде (ИМ)	Выход изомеризата (по массе), %
«За проход»	81–85	98–99
ДИП+ДП	86–88	98–99
ДИГ	87–88	97–98
ДИП+ДИГ	89–90	97–98
ДИП+ДП+ДИГ	91–92	97–98
ДИП+СуперДИГ	90,5–91,5	97–98

\*ДИП – деизопентанизация; ДП – депентанизация; ДИГ – деизогексанизация

Рост октанового числа и уменьшение выхода изомеризата наблюдается по мере усложнения технологической схемы процесса изомеризации. В свою очередь, чем выше октановое число, тем больше затраты на рециркуляцию непревращенного сырья, следовательно, и себестоимость продукции. Схема «Изомалк-2» с деизопентанизацией сырья и рециклом малоразветвленных гексанов (ДИП+ДИГ) считается одним из наиболее оптимальных технических решений.

Таким образом, развитие технологий изомеризации легких бензиновых фракций идет в направлении углубления конверсии парафинов в высокооктановые изокомпоненты при снижении стоимости процесса за счет разработки активных, селективных и стабильных катализаторов, совершенствования процессов разделения изомеризата и оптимизации состава сырья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тураносов А.В., Иванчина Э.Д., Чеканцев Н.В., Чузлов В.А., Смольянова Ю.А. Оптимизация процесса изомеризации пентан-гексановой фракции с использованием комплексной математической модели HYSYS-IZOMER//Нефтепереработка и нефтехимия. – 2012. – №12. – С. 9–12.
2. Смоликов М.Д., Шкуренко В.А., Яблокова С.С. Изомеризация н-гептана на катализаторах Pt/MOR/ $Al_2O_3$ //Катализ в нефтеперерабатывающей промышленности. – 2014. – №2. – С. 51–58.

3. Шакун А.Н., Федорова М.Л. Эффективность различных типов катализаторов и технологий изомеризации легких бензиновых фракций//Катализ в промышленности. – 2014. – №5. – С. 29–37.

УДК 678.4(043.3)

Студ. А.М. Гавлик

Науч. рук. доц. Ж.С. Шашок

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ**

Эластомерные композиции являются одними из важнейших конструкционных материалов, которые находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Это обуславливается, прежде всего, их уникальной способностью значительно деформироваться при сравнительно небольших напряжениях; изменять форму при механическом нагружении, практически сохраняя постоянный объем; восстанавливать исходную форму после удаления нагрузки; поглощать в процессе деформирования и рассеивать при последующем восстановлении механическую энергию.

Для увеличения работоспособности резиновых изделий на основе эластомерных композиций наряду с совершенствованием конструкций и технологии их изготовления большое значение имеет повышение качества резин, которое может достигаться физической и химической модификацией за счет применения новых типов каучуков, наполнителей, вулканизирующих систем, противостарителей, а также нанесением покрытий на поверхность резинотехнических изделий.

Одним из перспективных направлений модификации свойств изделий, изготавливаемых на основе эластомерных материалов, является использование высокодисперсных углеродных материалов, которые позволяют повысить технологические характеристики резиновых смесей или придать специальные свойства резинам [1, 2].

В данной работе исследования проводились с использованием высокодисперсного углеродного материала монофракции «Р» в дозировках 0,1 и 0,2 масс. ч. В качестве эластомерной матрицы использовались резиновые смеси на основе комбинации каучуков общего назначения НК+СКДН с минеральным наполнителем и на основе каучука специального назначения БНКС-18АН. Рецептуры резиновых смесей приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Рецептуры резиновых смесей на основе НК и БНКС-18АН**

Наименование ингредиентов	Содержание ингредиентов, масс. ч. на 100 масс. ч. каучука	
	НК+СКДН	БНКС-18АН
НК	80,00	-
СКДН	20,00	-
БНКС-18АН	-	100,00
Сера	6,00	-
Дитиоморфолин	-	2,00
Тиурам Д	-	2,00
Сульфенамид Ц	1,50	2,00
Минеральный наполнитель	57,00	-
Технический углерод N550	-	40,00
Технический углерод N772	-	90,00
Прочие ингредиенты	36,10	40,50

Важнейшими характеристиками технологических свойств полимерных материалов и резиновых смесей являются реологические свойства. Для оценки поведения эластомеров и резиновых смесей используют один из важнейших реологических показателей, являющийся соотношением пластической и высокоэластической составляющей в общей деформации. Под пластичностью материала понимают его способность сохранять форму после снятия деформирующей нагрузки. Эластические свойства обычно характеризуются обратимой деформацией материала. Сопротивление необратимому изменению образца обусловлено вязкостью полимера и резиновых смесей [3].

В таблице 2 представлены результаты исследования вязкости по Муни наполненных эластомерных композиций, содержащих исследуемую высокодисперсную углеродную добавку.

Исследования вязкости по Муни резиновых смесей на основе каучука специального назначения БНКС-18АН показали, что введение высокодисперсного углеродного материала типа монофракции «Р» практически не оказывает влияния на вязкость по Муни резиновых смесей (изменение показателя составляет около 1%). В смесях на основе комбинации каучуков общего назначения с минеральным наполнителем введение высокодисперсной углеродной добавки монофракция «Р» приводит к повышению вязкости по Муни на 7,3–9,6%.

**Таблица 2 – Вязкость по Муни исследуемых резиновых смесей**

Наименование добавки	Дозировка добавки (масс.)	M <sub>max</sub> , усл. ед. Муни	ML, усл. ед. Муни
----------------------	---------------------------	----------------------------------	-------------------

	ч.)		
БНКС-18АН			
Без добавки	–	125,8	81,5
Монофракция «Р»	0,1	119,5	81,7
	0,2	119,7	80,7
НК + СКДН			
Без добавки	–	54,0	35,6
Монофракция «Р»	0,1	63,8	38,2
	0,2	54,6	39,0

В таблице 3 приведены результаты определения релаксации напряжения исследуемых резиновых смесей.

**Таблица 3 – Показатели релаксации напряжений исследуемых резиновых смесей**

Наименование добавки	Дозировка добавки (масс. ч.)	$tga'$	$K_p$ , %
БНКС-18АН			
Без добавки	–	-0,315	35,21
Монофракция «Р»	0,1	-0,314	31,63
	0,2	-0,316	32,58
НК + СКДН			
Без добавки	–	-0,491	34,07
Монофракция «Р»	0,1	-0,500	40,13
	0,2	-0,500	38,57

Введение высокодисперсного углеродного материала оказывает незначительное влияние на протекание релаксационных процессов в объеме эластомерной композиции на основе каучука специального назначения БНКС-18АН. Коэффициент релаксации для композиции без добавки равен 35,21%, а для смесей с указанной добавкой 31,63 и 32,58% соответственно с увеличением дозировки.

Использование высокодисперсного углеродного материала в составе композиций на основе НК с минеральным наполнителем позволяет увеличить скорость релаксации напряжения в резиновых смесях. Композиции с данным материалом имеют значения коэффициента релаксации 46,26 и 44,57% с увеличением дозировки соответственно; для композиции без добавки данный показатель равен 34,07%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мищенко, С.В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / С.В. Мищенко, А.Г. Ткачев. – М.: «Машиностроение», 2008. – 172 с.

2. Шашок, Ж.С. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях / Ж.С. Шашок, Н.Р. Прокопчук. – Минск: БГТУ, 2014. – 232 с.

3. Корнев, А.Е. Технология эластомерных материалов: учеб. пособ. для вузов / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Шевердяев. – М.: Истек, 2009. – 502 с.

УДК 678.7

Студ. Н.С. Пекарский

Науч. рук. ст. преп. К.В. Вишневский

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОПЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ПРОДУКТАМИ НА ОСНОВЕ АДДУКТОВ КАНИФОЛИ**

Канифоль в настоящее время находит широкое применение, ее используют в различных отраслях промышленности. Но такие свойства канифоли, как низкая температура размягчения, высокое кислотное число, склонность к кристаллизации, хрупкость, способность легко окисляться кислородом воздуха, недостаточная влагоустойчивость и др., являются неприемлемыми для некоторых потребителей. Поэтому канифоль используется в виде ее производных, таких как амиды, эфиры, резинаты и др., которые в основном используются в качестве модифицирующих добавок.

Канифоль и ее разнообразные производные широко применяются в резиновых смесях главным образом как повысители клейкости. Применение модифицированной канифоли во многих отраслях промышленности улучшает качество выпускаемой продукции и повышает ее долговечность. Также модифицированная канифоль оказывает влияние на процесс переработки резиновых смесей, их вязкость и на процесс вулканизации.

Целью данной работы являлось исследование влияния продуктов на основе аддуктов канифоли на технологические свойства эластомерных композиций.

В качестве технологических добавок применялись продукты взаимодействия канифольноцитраконовых аддуктов с анилином,

аминами, амидами и прочими соединениями. Исследования проводились на модельных резиновых смесях на основе каучука СКМС-30-АРКМ-15 и не содержали наполнителей. В качестве образца сравнения использовалась композиция не содержащая добавок.

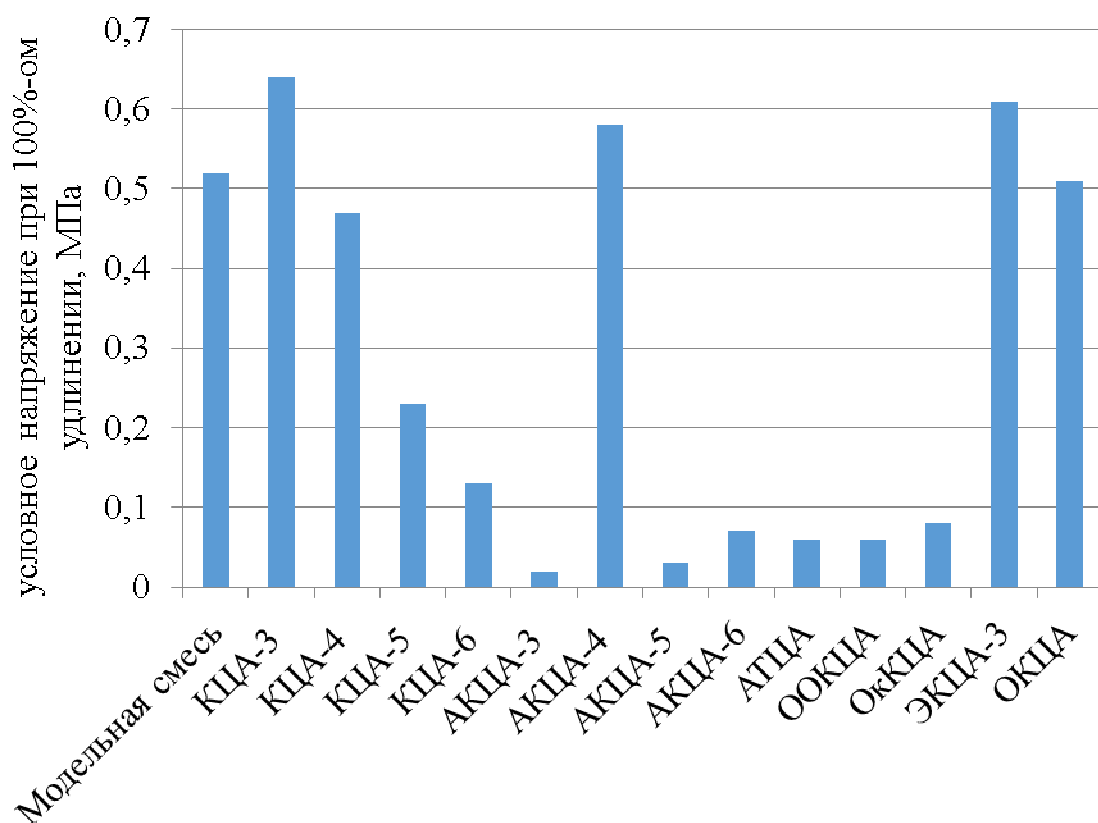
В ходе работы определялись различные показатели: условное напряжение при 100% удлинении (напряжение наблюдаемое при удлинении образца на 100%), условная прочность при растяжении (максимальное растягивающее усилие при растяжении образца в направлении его длины с постоянной скоростью растяжения, отнесенное к ширине образца) и относительное удлинение при разрыве (это увеличение длины образца в момент разрыва, выраженное в процентах от истинной длины образца).

По результатам исследования было определено, что увеличение условного напряжения при 100%-ом удлинении наблюдается при добавлении КЦА-3 (до 0,64 МПа), АКЦА-4 (до 0,58 МПа) и ЭКЦА-3 (до 0,61 МПа). Наибольшее снижение наблюдается при добавлении добавок АКЦА-3 (до 0,02 МПа), АКЦА-5 (до 0,03 МПа), АКЦА-6 (до 0,07 МПа), АТЦА (до 0,06 МПа), ООКЦА (до 0,06 МПа), ОкКЦА (до 0,08 МПа). На рисунке 1 представлено условное напряжение при 100%-ом удлинении в зависимости от введенной добавки.

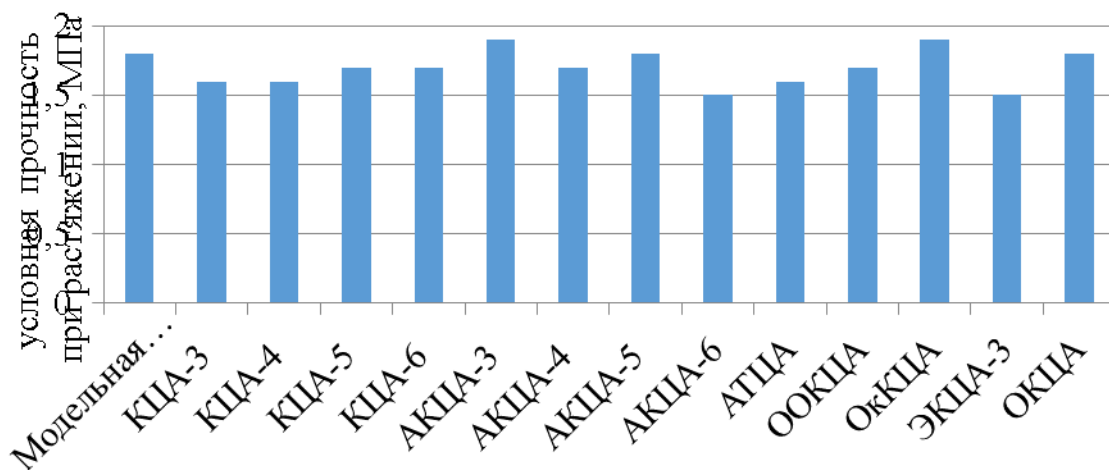
Условная прочность при растяжении возросла при использовании добавок АКЦА-3 (до 1,9 МПа), ОкКЦА (до 1,9 МПа). В остальных случаях она осталась неизменной или снизилась. Наиболее сильное снижение наблюдалось при добавлении КЦА-3 (до 1,6 МПа), КЦА-4 (до 1,6 МПа), АКЦА-6 (до 1,5 МПа), АТЦА (до 1,6 МПа) и ЭКЦА-3 (до 1,5 МПа).

На рисунке 2 представлена условная прочность при растяжении в зависимости от введенной добавки.

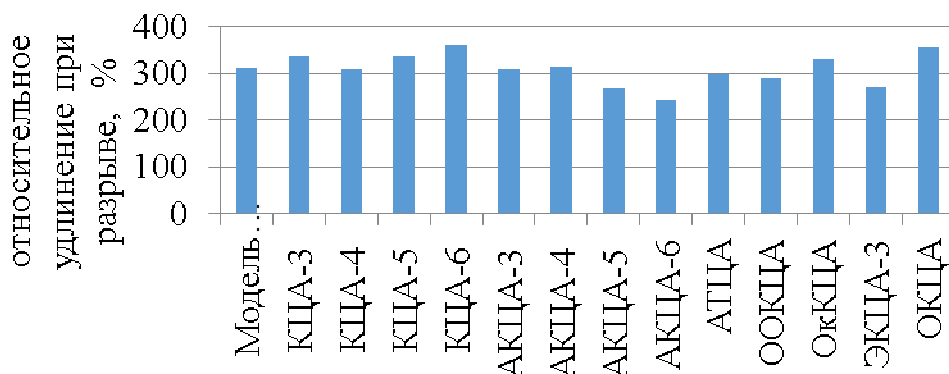
Увеличение относительного удлинения при разрыве произошло при добавлении КЦА-3 (до 335%), КЦА-5 (до 337%), КЦА-6 (до 361%), ОокЦА (до 330%) и ОКЦА (до 356%). Наибольшее снижение показателя наблюдалось при добавлении добавок: АКЦА-5 (до 267%), АКЦА-6 (до 244%), АТЦА (до 297%), ООКЦА (до 289%) и ЭКЦА-3 (до 271%). На рисунке 3 представлено относительное удлинение при разрыве в зависимости от введенной добавки.



**Рисунок 1 – Условное напряжение при 100%-ом удлинении в зависимости от введенной добавки**



**Рисунок 2 – Условная прочность при растяжении в зависимости от введенной добавки**



**Рисунок 3 – Относительное удлинение при разрыве в зависимости от введенной добавки**

Подобное действие вызвано участием вводимых добавок в процессе вулканизации, что повлияло на степень сульфидности и густоту вулканизационной сетки. Кроме того, увеличение относительного удлинения при разрыве и условной прочности при растяжении могло быть вызвано действием добавок в качестве межструктурных пластификаторов, которые способствуют пространственной ориентации макромолекул и более равномерному распределению нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зандерман. Природные смолы, скипидары, талловое масло/ Пер. с нем. Б.Д. Богомоллова и Л.А. Селезневой. □М., Лесная пром-сть, □1964, 576 с.
2. Жильников В.И, Хлопотунов Ф.Г. Модифицированная канифоль – М.: Лесная промышленность, □ 1968 – С. 129.

УДК 678.011

Студ. А.Д. Михайлов

Науч. рук. ст. преп. Е.П. Усс

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ В КОМБИНИРОВАННОЙ ОЛИГОМЕРНОЙ СРЕДЕ**

Резина является конструкционным материалом, способным подвергаться большим упругим деформациям без разрушения. Перспективным направлением в усовершенствовании вулканизатов на основе как непердельных, так и предельных каучуков является их



модификация с использованием неионогенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в связи с их универсальностью и эффективностью. Известно [1], что ПАВ являются эффективными модификаторами для регулирования свойств полимерных материалов, наполненных твердой дисперсной фазой – минеральными и органическими наполнителями. В технологии шинного производства и производства резинотехнических изделий (РТИ) ПАВ используют для регулирования адгезионных свойств резиновых смесей с целью предохранения их от слипания [2].

Целью работы являлось исследование влияния модифицирования эластомерных композиций на основе каучуков общего назначения в низкомолекулярных олигомерных средах на упруго-прочностные свойства резин до и после теплового старения. Объектами исследований являлись наполненные эластомерные композиции на основе комбинации неполярных каучуков общего назначения СКИ-3 и СКД. Для сравнения использовали немодифицированные образцы резин, вулканизованные в прессе при температуре  $142\pm 2^\circ\text{C}$  в течение  $30\pm 0,5$  мин.

В качестве модифицирующей среды использовали низкомолекулярные полиэтиленоксиды (ПЭО) с молекулярными массами 400 и 4000. Низкомолекулярные полиэтиленоксиды относятся к неионогенным поверхностно-активным веществам, являются нетоксичными, имеют приемлемые физико-химические свойства, характеризуется доступностью сырья, простотой синтеза и низкой стоимостью, что делает их перспективными модификаторами для эластомеров. Модифицирование эластомерных композиций в среде полиэтиленоксидов заключалось в следующем. Вначале образцы резин вулканизовали в прессе при температуре  $143\pm 2^\circ\text{C}$  до достижения заданной степени вулканизации, обеспечивающей необходимую каркасность и монолитность образцов. Далее выдерживали образцы в ненапряженном состоянии в среде модификатора при температуре  $140\pm 2^\circ\text{C}$  и различных временных параметрах.

Исследование по нахождению условной прочности при растяжении резин проводится согласно ГОСТ 270-75. В ходе исследования также определяется относительное удлинение при разрыве образцов резин. Испытание для нахождения упруго-прочностных свойств резин проводится на разрывной машине Тензометр Т 220 DC при постоянной скорости растяжения образцов в виде лопаток при комнатной температуре. В таблице 1 представлены результаты определения упруго-прочностных показателей резин.

**Таблица 1 – Показатели свойств резин на основе СКИ-3+СКД до теплового старения**

Образец	Время модифицирования, мин	Относительное удлинение при разрыве, %	Условная прочность при растяжении, МПа
Немодифицированный	–	280	14,0
Модифицированный	30	290	15,3
	45	315	15,5
	60	325	15,4
	75	305	15,0
	90	280	14,3

Результаты исследования показали, что для эластомерных композиций на основе неполярных каучуков СКИ-3 и СКД, модифицированных в комбинированной олигомерной среде ПЭО 400 + ПЭО 4000 от 30 до 90 мин, показатель условной прочности при растяжении снижается от 15,3 МПа до 14,3 МПа. При этом значение условной прочности при растяжении у немодифицированного образца составляет 14,0 МПа. В тоже время для образцов, модифицированных в комбинированной олигомерной среде в течение 30–60 мин наблюдается увеличение значения показателя относительного удлинения при разрыве до 325%, а для образцов, модифицированных в течении 75 и 90 мин наблюдается снижение показателя относительного удлинения при разрыве до 280%. Значение показателя относительного удлинения при разрыве у немодифицированного образца составляет 280%. Исходя из полученных данных при испытании можно сделать вывод, что увеличение времени модифицирования в комбинированной олигомерной среде снижает показатели упруго-прочностных свойств модифицированных резин, что может быть обусловлено эффектом пластифицирования эластомерных композиций вследствие избытка в их поверхностных слоях молекул модифицирующей олигомерной среды. Стойкость резины к термическому старению оценивали согласно ГОСТ 9.024-74. Образцы выдерживались в термостате при температуре  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 72 ч.

В таблице 2 представлены результаты определения показателей резин после теплового старения.

**Таблица 2 – Показатели свойств резин на основе СКИ-3+СКД  
после теплового старения**

Образец	Время модифицирования, мин	Изменение показателя относительного удлинения при разрыве после старения, %	Изменение показателя условной прочности после старения, %
Немодифицированный	-	+10,0	+2,8
Модифицированный	30	-16,0	-9,7
	45	-2,0	-4,4
	60	-39,0	-25,5
	75	-13,0	-9,6
	90	-21,0	-5,6

Выявлено, что модифицированные вулканизаты на основе неполярных каучуков в большей степени подвержены тепловому старению при  $70\pm 2^\circ\text{C}$  по сравнению с немодифицированными за исключением образца на основе, модифицированного в течение 45 мин. Такой характер изменения свойств модифицированных резин после теплового старения может быть связан с изменением структуры вулканизационной сетки и природы поперечных связей в результате воздействия среды на исследуемые резины.

Таким образом, в ходе проведенных исследований определено, что улучшение характеристик модифицированных резин на основе каучуков общего назначения может быть связано с изменением структуры поверхностных и объемных слоев композиций в результате диффузии молекул низко- и высокомолекулярного полиэтиленоксидов и их влиянием на процессы диспергирования ингредиентов в эластомерной матрице и вулканизацию композиций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов, В.П. Коллоидно-химические аспекты взаимодействия ПАВ с поверхностью полимеров / В.П. Барабанов, С. А. Богданова // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – №2. – С. 47–52.

2 Сумм, Б.Д. Физико-химические основы смачивания и растекания / Б.Д. Сумм, Ю.В. Горюнов. – М.: Химия, 1976. – 232 с.

УДК 667.6

Студ. Д.В. Эсауленко

Науч. рук. ст. преп. А.И. Глоба

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ АЛКИДНЫХ ПЛЕНКООБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Для производства лакокрасочных материалов наибольшее распространение получили алкидные полимеры. Алкиды представляют собой сложные эфиры многоатомных спиртов с многоосновными кислотами или их ангидридами, модифицированные растительными маслами. К числу преимуществ этого вида лакокрасочных покрытий относится частичное использование для их производства возобновляемого природного сырья и возможность изготовления большого разнообразия композиций.

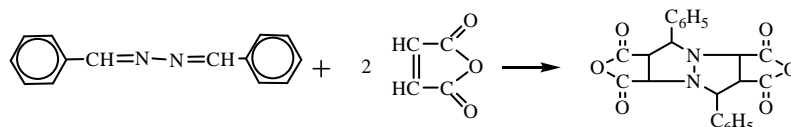
В зависимости от используемых многоатомных спиртов алкидные олигомеры классифицируют на глифталевые, пентафталевые, этрифталевые, ксифталевые. В качестве кислотных компонентов используются карбоновые кислоты, их ангидриды и хлорангидриды. В зависимости от типа растительного масла или жирной кислоты, входящих в состав алкидных олигомеров, последние подразделяются на высыхающие (льняное, тунговое и др.), полувысыхающие (подсолнечное, соевое и др.), невысыхающие (касторовое). В зависимости от содержания модификатора алкиды классифицируют на сверхтощие (до 34%), тощие (35–45%), средней жирности (46–55%) и жирные (50–70%) [1].

Алкидные олигомеры получают методом алкоголиза и значительно реже – жирнокислотным методом. Основной реакцией во всех случаях является полиэтерификация, проводимая с избыточным количеством многоатомного спирта. Возможны и другие методы, например, моноглицеридный метод, в котором на первой стадии осуществляется модификация масла. В этом методе глицерин (или другой полиол) и масло взаимодействуют в присутствии основного катализатора (гидроксида натрия, свинцового глета), образуя «моноглицерид», моноэфир жирной кислоты и глицерина. Менее распространенным методом является ацидолиз, когда масло реагирует сначала с полиосновной кислотой до взаимодействия с полиолом. Свойства алкидных олигомеров определяются природой мономеров, образующих полиэфирную цепь, природой и количеством модификатора. Варьирование свойств покрытий на основе модифицированных олигоэфиров достигается следующими способами: 1) введением различных сомономеров при синтезе смолы; 2) взаимодействием готовых

смола с модифицирующими веществами; 3) смешением смол с другими пленкообразователями [2–4]. В качестве модификаторов наибольшее распространение получили растительные масла, свободные монокарбоновые кислоты или их производные, различные алифатические и ароматические кислоты синтетического или природного происхождения и технические смеси изомерных кислот. Для модификации алкидов нашли применение также димерные жирные кислоты высыхающих и полувсыхающих масел. Их применение позволяет экономить до 15 % фталевого ангидрида и получать алкиды с высокой скоростью отверждения в естественных условиях и при повышенной температуре. Образованные при этом покрытия отличаются высокой эластичностью, глянецом и водостойкостью.

Модификация алкидов стиролом может осуществляться двумя путями: сополимеризацией со стиролом одного из исходных компонентов перед проведением синтеза алкида или сополимеризацией со стиролом готового алкида. Во втором случае модификация включает свободнорадикальную цепную полимеризацию мономера в присутствии алкида в условиях, способствующих прививке к ненасыщенным жирнокислотным остаткам алкида. Модификация виниловыми мономерами используется для повышения скорости высыхания, увеличения твердости, улучшения цвета, водо- и щелочестойкости. Однако при этом понижается способность к сохранению блеска и устойчивость к растворителям. Модификация алкидов путем взаимодействия готовых смол с модифицирующими веществами может осуществляться, при введении в состав алкидного олигомера формальдегида, что приводит к уменьшению функциональности многоатомного спирта. Молекула формальдегида связывает две гидроксильные группы молекулы многоатомного спирта с образованием циклических или внутренних формалей. Протеканию этой реакции способствуют ангидриды кислот, которые быстро удаляют выделяющуюся в процессе реакции воду. Модифицированные формальдегидом алкиды быстрее высыхают, имеют лучший цвет и повышенную стойкость к воздействию щелочей.

Целью работы является синтез алкидных олигомеров с различной структурой за счет качественного и количественного варьирования мономеров. Был получен диангидрида 4,8-дифенил-1,5-диазабисцикло-/3,3,0/-октан-2,3,6,7-тетракарбоновой кислоты, использованный в последующем в качестве сомономера для синтеза алкидного олигомера. Синтез осуществляли по реакции двойного 1,3-диполярного циклоприсоединения малеинового ангидрида к бензальзину.



Получали диангидрид с температурой плавления 240–242 °С (выход 70 %.) На основе полученного диангидрида осуществляли синтез алкидной смолы по двухстадийной схеме. На первой стадии проводили переэтерификацию рафинированного льняного масла и полифункциональных спиртов – глицерина и пентаэритрита. В качестве катализатора использовали PbO (0,1 мас.%). Реакцию проводили в токе азота при 250°С в течение 30–40 минут до полной переэтерификации льняного масла. За ходом реакции переэтерификации следили путем контроля растворимости реакционной смеси в этиловом спирте. Реакция считается законченной, когда отобранная проба полностью растворима в этиловом спирте (объемное соотношение продукта реакции и этилового спирта 1:10). На второй стадии проводили поликонденсацию фталиевого ангидрида и синтезированного диангидрида со смесью глицеридов, образовавшихся на первой стадии при 215°С в течение 2,5 ч. Количество диангидрида 4,8-дифенил-1,5-диазабицикло-/3,3,0/-октан-2,3,6,7-тетракарбоновой кислоты варьировали в пределах 1–15 масс.% от общей загрузки кислотного компонента. Получали смолу с кислотным числом 20–40 мг КОН/г.

Таким образом, получение модифицированных алкидных пленкообразователей за счет варьирования структуры полимера (использования различных мономеров, подбора условий синтеза, применения мономерных и олигомерных модификаторов готовых смол) является основной задачей химиков-синтетиков с целью создания алкидных лакокрасочных материалов нового поколения с уникальным комплексом свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопчук, Н.Р. Химия и технология пленкообразующих веществ: учебное пособие для студентов вузов / Н.Р. Прокопчук, Э.Т. Крутько. – Минск: БГТУ, 2004. – 423 с.
2. Способ получения алкидных смол: пат. 2385332 Россия, МПК С08G63/49/ Р.Г. Сабиров, Л.А. Тарасюк, А.А. Мухаметзянова, Н. С. Антипанова, Р.М. Багаева, З.М. Гарипова, И.В. Садыков – заявл. 24.04.2008; опубл. 27.03.2010.
3. Способ получения алкидно-силоксановой смолы: пат. 2264417 Россия, МПК С08G63/91/ Л.А. Добровинский, И.В. Руцкий, А.И. Челулаев, Г.Д. Абалова – заявл. 07.09.2004; опубл. 20.11.2005.

4. Способ получения алкидных олигомеров и алкидный лак, содержащий алкидный олигомер: пат. 2285705 Россия, МПК С08J11/04/ Г.М. Цейтлин, Е.Е. Казакова, И.В. Казеннов, А.Н. Утробин, Ю.П. Кобзев, М.В. Клубникин – заявл. 09.06.2005; опубл. 20.10.2006.

УДК 667.6

магистрант А.Н. Потапчик  
Науч. рук. доц. А.Л. Егорова  
(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

### **ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА АМИННОГО ОТВЕРДИТЕЛЯ НА СКОРОСТЬ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОД ЭПОКСИДНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**

В работе исследовано влияние количества аминного отвердителя на скорость коррозионных процессов под эпоксидными покрытиями. В качестве эпоксидной смолы использовали продукт реакции эпихлоргидрина и бисфенола А с содержанием эпоксидных групп 2328 ммоль/кг. В качестве аминного отвердителя применяли полиэтиленполиамин с аминным числом 18870 ммоль/кг. Отвердители вводили в соотношениях смола:отвердитель 100:10,34 (вариант А) и 100:8,46 (вариант Б), что соответствует 10% избытку и 10% недостатку по отношению к стехиометрическому количеству соответственно.

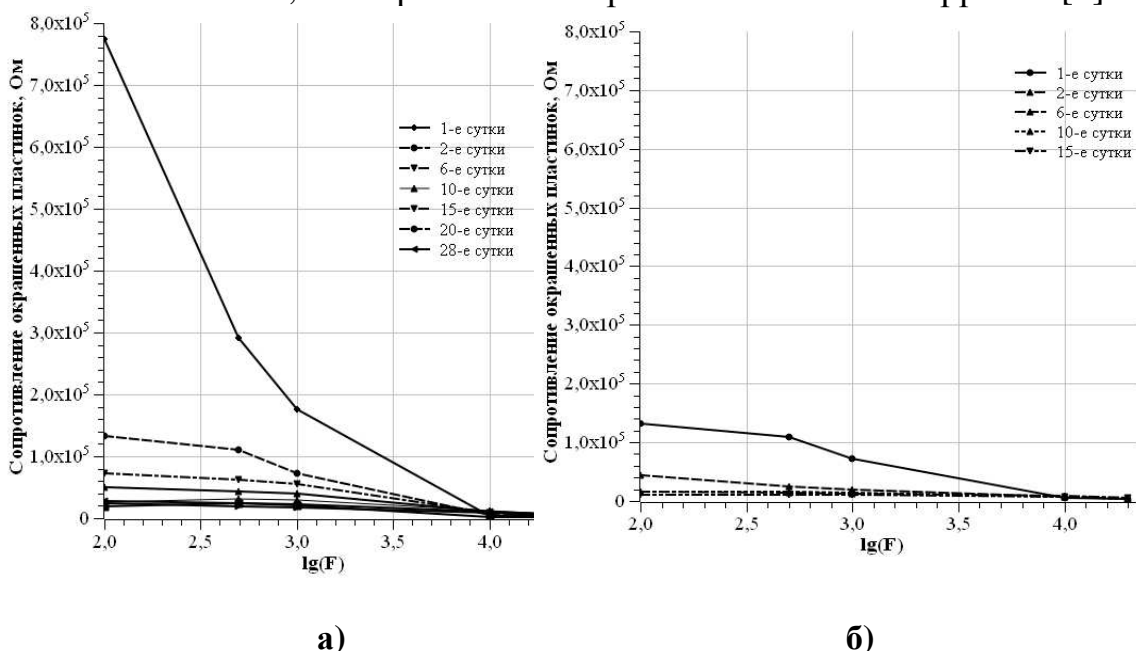
Полученные композиции наносили на стальные пластинки из стали марок 08 кп размером 70×150×0,8 мм аппликатором. Контроль толщин покрытий после высыхания осуществляли с помощью электромагнитного толщиномера. Испытаниям подвергали покрытия с толщиной в диапазоне 50±5 мкм.

Протекание коррозионных процессов оценивали по изменению величин ёмкости и сопротивления покрытий. Сущность метода заключается в измерении ёмкости и сопротивления окрашенных пластинок при различных частотах переменного тока (100, 500, 1000, 10000 и 20000 Гц) [1]. Область испытания покрытий ограничивали полипропиленовыми цилиндрами с внутренним диаметром 3 см и высотой 6 см, внутрь которых заливали 3% раствор хлорида натрия.

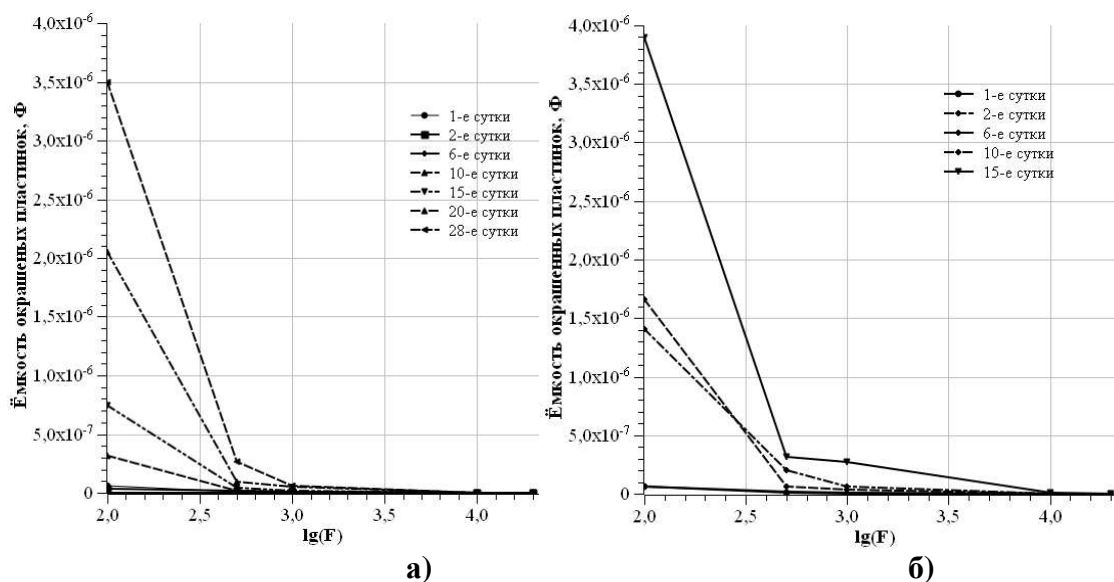
Характер изменения зависимостей ёмкости и сопротивления от частоты тока при воздействии раствора хлорида натрия служит критерием защитных свойств покрытий [2]. Для непигментированных покрытий защитное действие обусловлено созданием барьера для диффузии электролита к металлу через покрытие и увеличению препятствий для обмена ионов на границе металл-электролит.

Если ёмкость покрытия не зависит от частоты тока, а сопротивление обратно пропорционально ей, то покрытие защищает

металл от коррозии. В обратном случае, когда емкость системы изменяется с изменением частоты тока, а сопротивление претерпевает малые изменения, лакокрасочное покрытие не стойко к коррозии [2].



**Рисунок 1 – Зависимость сопротивления окрашенных пластинок от частоты переменного тока и продолжительности испытаний: а) при соотношении смола:отвердитель=100:10,34, б) смола:отвердитель=100:8,46**



**Рисунок 2 – Зависимость ёмкости окрашенных пластинок от частоты переменного тока и продолжительности испытаний: а) при соотношении смола: отвердитель = 100:10,34, б) смола: отвердитель = 100:8,46**

Из рисунков 1 и 2 видно, что на первые сутки для всех покрытий наблюдается постоянство ёмкости при значительном изменении сопротивления от частоты переменного тока. Это



свидетельствует о том, что электролит не достиг поверхности металла. Уже на вторые сутки наблюдается изменение характера зависимостей ёмкости и сопротивления от частоты переменного тока, это объясняется дальнейшей диффузией электролита в покрытии.

Для покрытия с меньшим количеством отвердителя (Б), рисунок 1б, уже на 2 сутки испытания сопротивление не зависит от частоты переменного тока, что может являться индикатором того, что электролит, диффундируя через покрытие, достиг металлической подложки. Для этого же покрытия на 6 сутки наблюдается смена характера зависимости ёмкости от частоты тока: от ее постоянства на всех частотах до ярко выраженного изменения с увеличением частоты тока. Дальнейшее воздействие электролита приводит к развитию этой тенденции, что свидетельствует об активном протекании коррозионных процессов под лакокрасочным покрытием.

Для покрытия с большим количеством отвердителя (А), рисунок 2а, смена зависимости ёмкости от частоты тока начинается на 10 сутки испытания, что, по аналогии с покрытием Б, является индикатором протекания коррозионных процессов под покрытием. Можно считать, что продолжительность защитного действия покрытия А составляет 10 суток, а покрытия Б 6 суток, после которых наблюдается наиболее сильный скачок в изменении ёмкости покрытий от частоты тока. Однако, несмотря на появление очагов коррозии под покрытием, скорость коррозионного процесса ограничивается благодаря сохраняющейся адгезии покрытия, что создает препятствие для обмена ионов – участников коррозионной реакции.

Непигментированное покрытие перестанет влиять на коррозионный процесс после полной потери адгезионных связей с металлом. Потеря адгезионных связей происходит в большей мере за счет накопления продуктов реакции под покрытием.

Таким образом, установлено, что количество аминного отвердителя влияет на протекание коррозионных процессов под эпоксидным покрытием. Покрытие А с соотношением смола:отвердитель 100:10,34 обеспечивает более длительную защиту от коррозии по сравнению с покрытием Б с соотношением смола:отвердитель 100:8,46.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Loveday, D. Evaluation of Organic Coatings with Electrochemical Impedance Spectroscopy. Part 2: Application of EIS to Coatings. / Loveday, D., Peterson, P., JCT Coatings Tech, October 2004, 88–93 с.

2. Карякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. / М. И. Карякина. М.: Химия, 1988.

УДК 678.5

студ. Е.М. Федорович, В.В. Громыко,  
Науч. рук. доц. О.М. Касперович; асс. Л.А. Ленартович  
(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

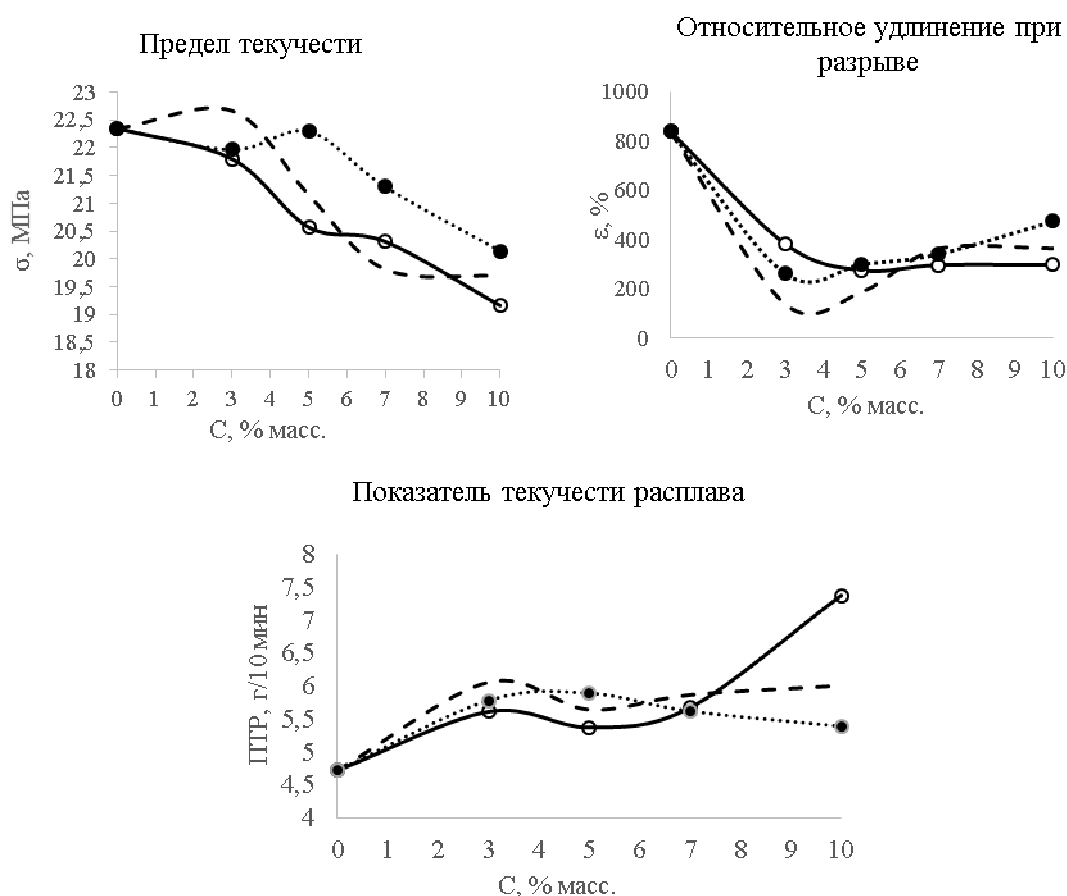
## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИОЛЕФИНОВ ПРИ ВВЕДЕНИИ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ**

В производстве изделий технического назначения в большом объеме применяются полиолефины, что обусловлено их достаточно высокими физико-механическими характеристиками и относительно небольшой стоимостью. Однако они имеют как положительные свойства, так и ряд недостатков. В настоящее время актуальной задачей является создание материалов с заданными свойствами. Большие возможности для улучшения эксплуатационных свойств полимерных материалов дает комбинирование пластмасс и каучуков. Смешение взаимно нерастворимых полимеров приводит к образованию гетерофазной системы, т.е. дисперсии одного полимера в матрице другого. Механические свойства гетерогенных смесей полимеров очень сложным образом зависят от большого числа факторов. В настоящее время широкое применение для модификации полимеров нашли термоэластопласты. Термоэластопласты (ТЭП) представляют собой полимерные материалы, обладающие в условиях эксплуатации высокоэластичными свойствами, характерными для эластомеров, а при повышенных температурах обратимо переходящие в пластическое или вязкотекучее состояние и перерабатываемые подобно термопластам. Они используются в различных отраслях промышленности, главным образом, из-за сочетания в себе технологичности термопластов и физических свойств вулканизированных резин [1].

Целью данной работы являлось исследование влияния термоэластопластов на технологические и эксплуатационные свойства полимерных композиций на основе полиолефинов. Исследования проводились на модельных полимерных смесях на основе полипропилена (ПП) марки 21030-16Н и полиэтилена низкого давления (ПЭНД) марки 273-83. В качестве технологических добавок применялись ТЭП типа СЭБС (TPE com 805.901.A30P Natural, TPE com 811.901.A65P Black, Ensoft SD 161-55A) и СБС (ДСТ-30, SX-400). В качестве образца сравнения использовались композиции, не содержащие добавок.

Образцы для испытаний получали методом литья под давлением на термопластавтомате BOY 22A (Dr. Boy, Германия). Испытания образцов типа 2 (лопатка, ГОСТ 11262-80) проводили согласно ГОСТ 11262-80 на тензомере T2020 DC10 SH (Alpha Technologies UK, США). Количество образцов в каждом испытании 5 шт.

На рисунке представлены значения относительного удлинения при разрыве, предела текучести и показателя текучести расплава в зависимости от содержания ТЭП в композиции.



**Рисунок – Изменение деформационно-прочностных свойств композиций ПЭНД в зависимости от содержания ТЭП (ДСТ-30)**

Из рисунка видно, что использование ТЭП приводит к снижению предела текучести с увеличением его содержания в композиции. При использовании 10% масс. ДСТ-30 наблюдается наибольшее снижение предела текучести 22,5 до 19,1 МПа, что свидетельствует о повышении деформируемости материала, о снижении напряжения сдвигового течения, когда атомы и сегменты цепей начинают проскальзывать друг относительно друга

[2]. Необратимая пластическая деформация наблюдается при меньшей нагрузке, материал становится более пластичным и менее жестким. При использовании ТЭП происходит снижение относительного удлинения при разрыве и повышение ПТР композиций.

Агрегаты термоэластопласта увеличивают подвижность крупных элементов надмолекулярной структуры, способствуя лучшей деформируемости и эластификации полимерной матрицы. Таким образом, ТЭП оказывает пластифицирующее действие, использование ТЭП в относительно небольших количествах позволяет целенаправленно регулировать свойства композиций.

Подобные зависимости деформационно-прочностных характеристик и ПТР наблюдались и для ПП. Поскольку ПП имеет низкую стойкость к термоокислительной деструкции, то для композиций ПП+ТЭП было оценено влияние ТЭП, как термостабилизирующей добавки.

В ходе работы образцы подвергались ускоренному старению в термошкафу при температуре 150°C в воздушной среде.

Наиболее чувствительным критерием воздействия теплового старения является изменение относительного удлинения при разрыве, поэтому именно по этому показателю мы оценивали устойчивость композиций к тепловому старению.

Установлено, что использование некоторых видов ТЭП, оказывает стабилизирующее действие. Для ТЭП TPEcom Natural, TPEcom Black уменьшение относительного удлинения при термостарении не столь значительно, как для чистого ПП. ТЭП марки TPEcom Black позволяет добиться максимального эффекта стабилизации. При введении его уже в количестве 5 мас.% достигается снижение показателя относительного удлинения всего на 43%. Причем после 96 часов старения относительное удлинение уменьшается всего на 0,5%. Для чистого ПП потеря свойств составляет 95,5%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Холден Д., Крихельдорф Х.Р., Куирк Р.П. Термоэластопласты. Санкт-Петербург: Профессия, 2011. 718 с.
2. Пол Д., Бакнелл К. Полимерные смеси. Том II: Функциональные свойства. Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, 2009. 606 с.

УДК661.7(075.8)

Студ. С.С. Автухова  
Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько  
(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

## **ИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ-ОСНОВА СОЗДАНИЯ НОВЫХ ПОЛИМЕРОВ, ПРОИЗВОДИМЫХ В БЕЛАРУСИ**

Полимеризация гетероциклических соединений протекает как типичный полимеризационный процесс и может быть осуществлена в виде ступенчатой полимеризации или как цепной процесс (ионная полимеризация). Полимеризация различных циклических соединений с использованием этих способов приобретает все большее значение как наиболее удобный и эффективный метод синтеза ряда высокомолекулярных соединений. Примером широкого использования этих реакций является промышленное производство таких крупнотоннажных пластиков и эластомеров, как полиамиды, простые и сложные полиэфиры, полисульфиды, полисилоксаны и др. Способ гидролитической полимеризации широко реализован в промышленных условиях (98% ПА-6 получают методом гидролитической полимеризации, и лишь остальные 2 % полимера синтезируют с помощью ионной полимеризации). Так, гидролитической полимеризацией по периодическим и непрерывным схемам на предприятии ОАО “ГродноАзот” получают крупнотоннажный полимер полиамид-6. Недостатком этого способа является необходимость ведения процесса при высоких температурах (220-250°C), длительность процесса (до 10-12 часов) и неполная конверсия мономера (88-90%) [1]. Этим недостаткам удастся избежать при использовании ионной полимеризации [2].

Ионная полимеризация имеет ряд особенностей, отличающих её от других видов полимеризации. Первая особенность: для инициирования процесса ионной полимеризации используют не инициатор, а катализатор, который не входит в состав полимера и в конце полимеризации выделяется из системы, в отличие от инициатора, входящего в состав полимера. Вторая особенность: энергия активации ионной полимеризации ниже, чем при радикальной полимеризации. Благодаря этому процесс можно проводить при обычных и минусовых температурах. Третья особенность: ионная полимеризация, в отличие от радикальной, чувствительна к природе растворителя. Четвёртая особенность: обрыв цепи не может происходить при встрече двух «живых» цепей, т.к. они имеют одинаковый заряд. Обрыв цепи происходит при взаимодействии с

другими частицами, например, с катализатором, растворителем, специальными добавками. Обрыв цепи часто затруднён и не происходит вообще. Пятая особенность: процессы ионной полимеризации способствуют получению стереорегулярных полимеров в значительно большей степени, чем при радикальной полимеризации. Отдельные процессы позволяют получить полностью стереорегулярные полимеры, которые являются особо ценными из-за лучших эксплуатационных свойств. Шестая особенность: круг используемых при ионной полимеризации мономеров шире, чем при радикальной. По ионному механизму полимеризуются не только виниловые и диеновые мономеры, но и многие циклические [3].

Рассмотрим анионную полимеризацию, как наиболее перспективный вариант развития для создания новых полимеров в Беларуси. Анионная полимеризация включает процессы, которые инициируются соединениями щелочных и щелочноземельных металлов. К анионной полимеризации способны большинство известных мономеров, имеющих связи  $C=C$ ,  $C=O$ ,  $C=N$ : карбонильные соединения, альфа-оксиды, тиооксиды, лактоны, лактаны, силоксаны.

Так, в случае анионной полимеризации ПА-6, когда реакция катализируется анионами, возникающими в результате воздействия на мономер анионно-координационными каталитическими системами, щелочными металлами, их гидроокисями или карбонатами процесс характеризуется сравнительно медленной стадией инициирования путем нуклеофильной атаки аниона на электрофильный атом углерода карбонильной группы ПА-6. Рост цепи (собственно цепная полимеризация) протекает значительно быстрее, чем инициирование, вследствие активирующего действия ацильного остатка. При использовании добавок некоторых ацильных производных  $\epsilon$ -капролактама (например, N-ацетил- $\epsilon$ -капролактама) эта реакция существенно ускоряется. При этом исчезает индукционный период, обусловленный медленным процессом инициирования, а скорость реакции возрастает более чем на порядок [2]. Достоинством такой активированной полимеризации является практически полная конверсия мономера (около 99 %) при 160-180° С. При этом время реакции сокращается до 1,0-1,5 часов. Таким образом метод анионной полимеризации позволяет реализовать непрерывный процесс для получения готовых изделий в одну стадию и даёт возможность одностадийного изготовления массивных изделий сложной формы [4]. Высокая скорость процесса в сочетании с ценными механическими свойствами полиамида обуславливает применение его в технологиях реакционного инъекционного формования (RIM) и центробежного литья.

Реализация анионной полимеризации в сочетании с реакционной экструзией является очень перспективной и для создания нанокompозитов. Композиционные материалы на основе ПА-6 представляют большой интерес в современном материаловедении, благодаря возможности увеличения механических, термических и барьерных свойств по сравнению с исходными материалами [4,5].

Учитывая высокую эффективность активированной анионной полимеризации ПА-6 с точки зрения энерго- и ресурсосбережения представляется важным выявление такого рода эффектов в случае анионной гомо- и сополимеризации. Особый практический интерес представляет разработка эффективных способов полимеризации лактонов, продукты (со)полимеризации которых, благодаря комплексу специфических свойств (биосовместимости, способности к биоразрушению под действием почвенных микроорганизмов), находят широкое применение как в технике, так и в медицине в производстве волокон, упаковочных пленочных материалов и в хирургической практике в качестве шовного материала и материала, способствующего срастанию костных тканей.

Процесс получения композитов методом АП практически не применяется в промышленности, хотя на мой взгляд он является наиболее перспективным для получения нанокompозиционных материалов на основе ПА-6, производимого в Республике Беларусь на предприятии ОАО «ГродноАзот», что позволит существенно увеличить ассортимент выпускаемой продукции и усилить позиции на мировом рынке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оллок, Г.Г. Гетероциклические соединения и полимеры на их основе/ Г.Г. Оллок. – М.: Мир, 1970. – 420с.
2. Архиреев, В.П. Ионная полимеризация кислородсодержащих гетероциклических соединений: монографии / В.П.Архиреев [и др.]. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2007. – 188с.
3. Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р. // Теоретические основы технологии производства органических веществ, Минск, БГТУ. – 2007., С.142 – 148.
4. Kojima Y., Usuki A., Kawasumi M., Okada A., Fukushima Y., Kurauchi T., Kamigaito O., Mechanical properties of nylon 6 – clay hybrid, J. Mater Res. 1993;8:1185-9.
5. Kojima Y., Usuki A., Kawasumi M., Okada A., Kurauchi T., Kamigaito O., Sorption of water in nylon 6 – clay hybrid, J. Appl. Polim. Sci. 1993;49:1259-64.

УДК 678.029.985.664.3

Студ. Л.В. Ляшук

Науч. рук. доц. Р.М. Долинская

(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНОЙ УПАКОВКИ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ**

Выбор полимерных материалов для изготовления упаковки определяется характером затариваемого продукта и требованиями эксплуатации. Целью данной работы является изучение характеристик и свойств полимеров, используемых в производстве упаковки пищевой продукции, виды упаковки, их свойства и области применения. Для производства полимерной тары пригодны следующие термопласты: полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВХ), полистирол (ПС), полиамид (ПА), поликарбонат (ПК), полиэтилентерефталат (ПЭТФ).

Полиэтилен низкой плотности – ПЭНП или ПЭВД является во всех странах наиболее многотоннажным продуктом. ПЭНП легко формуется, химически стоек, нетоксичен, имеет довольно высокую проницаемость по отношению к маслам и топливам. Изделия из ПЭНП обладают высокой эластичностью, морозостойкостью (до минус 70 °С), стойкостью к кислотам, щелочам и многим органическим растворителям (до 60 °С), хорошей водостойкостью, газо- и паропроницаемостью, легко термосвариваются. Достоинством их также является умеренная стоимость. Плотность ПЭНП – до 940 кг/м<sup>3</sup>. Недостатки ПЭНП – невысокие механическая прочность (до 20 МПа) и модуль упругости, низкие теплостойкость и стойкость к растрескиванию. ПЭНП применяется в основном для производства мелкой раздувной и термоформованной тары одноразового использования. Основные способы изготовления тары из ПЭНП: литье под давлением, экструзия, экструзия с раздувом (раздувное формование), ротационное формование, термоформование. Полиэтилен высокой плотности – ПЭВП или ПЭНД. К ПЭВП относятся ПЭ низкого и среднего давления (ПЭНД и ПЭСД). ПЭВП наиболее широко используется для получения тары. ПЭВП используется в тех случаях, когда требуется высокая стойкость к растрескиванию и короблению, глянцевая поверхность изделий, высокая теплостойкость и хорошие прочностные показатели. Он обладает значительной жесткостью, высокой ударной прочностью, стойкостью к растрескиванию под напряжением, имеет более высокие



прочностные и теплофизические характеристики, чем ПЭНП, малые водопоглощение и газопроницаемость. Его плотность – до  $960 \text{ кг/м}^3$ . ПЭСД также пригоден для производства транспортной тары. ПЭВП перерабатывается экструзией, литьем под давлением, экструзией с раздувом, ротационным формованием. В последние годы значительно расширено производство полипропилена (ПП) для производства транспортной тары. ПП занимает в настоящее время первое место по темпам роста производства и применения во всем мире. ПП является одним из наиболее легких полимеров (плотность его составляет  $910 \text{ кг/м}^3$ ), поэтому основным его потребителем являются пищевые отрасли промышленности, где он используется не только в производстве пленок, но и для получения флаконов, ящиков; а также транспортной тары. Полипропилен обладает по сравнению с другими полимерами более высокой теплостойкостью, в связи с чем, получаемые из него изделия можно подвергать стерилизации. Недостатками ПП являются: низкая светостойкость, а также низкая морозостойкость. Поливинилхлорид – широко используется для изготовления потребительской тары. Существенным недостатком ПВХ как материала для изготовления тары является его токсичность и канцерогенность мономера – винилхлорида. В настоящее время во всем мире уделяется большое внимание проблеме получения ПВХ с минимальным остаточным содержанием мономера. Помимо перечисленных свойств ПВХ обладает высокой влаго- и кислородонепроницаемостью, стойкостью ко многим химикатам, что делает его весьма перспективным материалом для создания композиций, используемых в производстве транспортной тары. Полистирол (ПС) используют для упаковки большей части молочных продуктов. Он не обладает такими высокими защитными характеристиками, как ПЭ, ПП или ПВХ, однако он является жестким материалом, поэтому получаемые из него изделия отличаются достаточно высокой механической прочностью и точностью размеров. Полиамиды (ПА) благодаря своим свойствам – высокой механической прочности, хорошим антифрикционными характеристикам, виброустойчивости, стойкости к ударным нагрузкам вошли в число традиционных конструкционных материалов. ПА обладают прекрасной стойкостью к действию органических растворителей, масел, легко перерабатываются в детали сложной конфигурации современными высокопроизводительными способами, главным образом, литьем под давлением. Существенным недостатком ПА является их способность к водопоглощению, вследствие чего требуется тщательная подсушка гранул перед переработкой;

подсушка осуществляется в бункере литьевой машины горячим воздухом. Другим существенным недостатком полиамидов, является высокая текучесть и низкая вязкость расплава. Изделия для полиамидов характеризуются невысокой износостойкостью. Поликарбонаты (ПК) в промышленном масштабе находят применение для изготовления тары и упаковки. Поликарбонат сохраняет свои эксплуатационные характеристики в диапазоне температур от  $-70$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ . Однако он характеризуется относительно высокой проницаемостью по отношению к влаге и водяному пару. Прекрасные технологические и эксплуатационные свойства ПК обуславливают его широкое, применение во многих отраслях народного хозяйства. До недавнего времени использование ПК как тароупаковочного материала сдерживалось стоимостью полимера. Однако в последнее время за рубежом была показана целесообразность его использования для изготовления литьем под давлением холодообменников. Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) в основном перерабатывают экструзией и получают, главным образом, пленки. Полиэтилентерефталатные пленки характеризуются высокой механической прочностью. Перспективным направлением является производство крупногабаритной тары из ПЭТФ, например бочек для рыбной продукции, раздувным формованием. Ограничением при переработке ПЭТФ является относительно низкая вязкость расплава. Сдерживающим фактором для массового внедрения упаковки из полиэтилентерефталата является довольно высокая стоимость полимерного сырья и значительные капиталовложения на перерабатывающее оборудование.

Большое разнообразие полимерных материалов, а также способов их переработки позволяет производителю широко варьировать свойства упаковки для различных пищевых продуктов в зависимости от их типа, состава, жирности, влажности и консистенции. В настоящее время с развитием технического оснащения и технологий производства упаковочных материалов и собственно упаковки значительно расширились возможности придания ей совершенно новых свойств и функций. Характерными примерами могут служить саморазогревающиеся и самоохлаждающиеся банки, саморазлагающиеся пленочные упаковки, Особую популярность в последние годы приобрела упаковка со специальными бактериологическими и антимикробными свойствами, оказывающая непосредственное антисептическое воздействие на продукт, главным образом на мясную продукцию (колбасы) и сыры в процессе их созревания и хранения.

УДК 662.71+665.642

Студ. С.С. Шиканов  
Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько  
(кафедра полимерных композиционных материалов БГТУ),  
зав. лаб., доц. Т.В. Плиско  
(Институт физико-органической химии НАН Беларуси)

## **ФОРМОВАНИЕ ПОЛУПРОНИЦАЕМЫХ МЕМБРАН ИЗ СИСТЕМЫ ПОЛИФЕНИЛЕНОКСИД-N-МЕТИЛ-2-ПИРРОЛИДОН**

Мембранные процессы – быстро развивающаяся новая область химии и химической технологии. Благодаря высокой эффективности, экономичности и экологической безопасности мембранные технологии на сегодняшний день являются самыми перспективными методами фильтрации и разделения жидких и газообразных смесей, жидких сред в биотехнологии, в химической, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности. Большинство баромембранных процессов основано на применении полимерных мембран.

Преимуществами полимерных мембран являются высокая плотность упаковки в единице объема аппарата, относительная простота получения, возможность контроля размеров пор и более низкая стоимость по сравнению с неорганическими мембранами, высокая технологичность. Недостатками полимерных мембран являются: склонность к загрязнению, недостаточно высокая химическая и термическая стойкость, механическая прочность. Одним из способов преодоления указанных недостатков является модификация серийно выпускаемых мембран и создание новых мембранных материалов с улучшенными свойствами. Такая модификация осуществляется реакцией полимера с различными низкомолекулярными или высокомолекулярными модифицирующими агентами [1, 2]. Установлено, что химическая модификация мембраны приводит к повышению производительности, селективности, механической прочности и снижению склонности к загрязнению мембран для газоразделения, первапорации, мембранной дистилляции, обратного и прямого осмоса, микро-, ультра- и нанофильтрации, диализа и электродиализа. Данная работа посвящена поиску методов формования мембран из растворов ПФО с использованием в качестве одного из основных растворителей для данного полимера N-метил-2-пирролидона.

Цель работы: разработка газоразделительных композиционных мембран для разделения воздуха с получением в качестве целевого продукта обогащенного азотом атмосферного воздуха.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- разработка метода формования мембраны, наработка лабораторных партий;

- выбор параметров условий для создания селективных слоев мембраны.

Полифениленоксид – простой ароматический полиэфир линейного строения, может многократно без изменения свойств перерабатываться на литьевых машинах, отличается высокой технологичностью. Полимер нетоксичен, стоек к агрессивным средам, грибковой плесени. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией. Из полифениленоксида можно получать тонкостенные изделия сложной формы. Высокая износостойкость (антифрикционный материал). Хороший высокочастотный диэлектрик [1, 2].

Впервые поли(2,6-диметил-1,4-фениленоксид) (ПФО) (а также полимер с небольшим количеством ненасыщенных углерод-углеродных связей С-С, дифенохинон (рисунок 1.1, (3)), был синтезирован в 1956 [2]. ПФО является стеклообразным полимером с хорошими пленкообразующими и механическими свойствами и высокой устойчивостью к агрессивным средам [1].

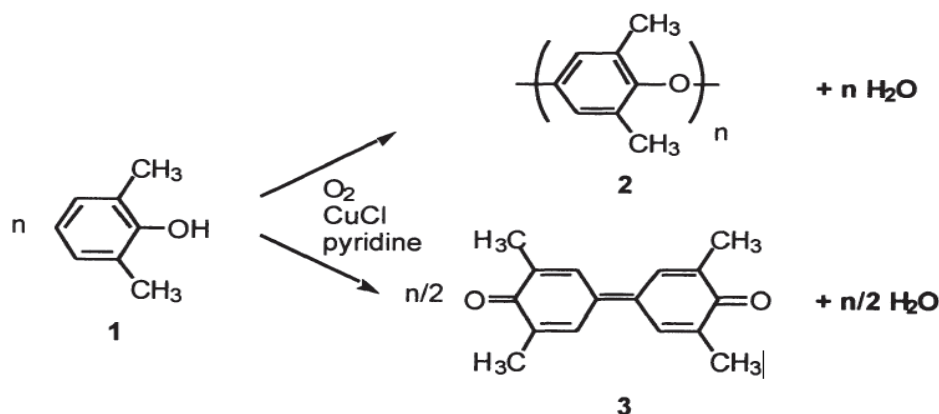


Рисунок 1 – Синтез поли(2,6-диметил-1,4-фениленоксида)

Реакция окисления 2,6-диметилфенола кислородом при комнатной температуре в растворе пиридина в присутствии хлорида меди (I) CuCl экзотермическая, раствор мгновенно становится вязким. Полимер осадил и охарактеризовали как высокомолекулярный линейный полифениленоксид [2]. Новый метод полимеризации – получение ПФО – назвали дегидрополиконденсацией. В ходе работы исследовали мембраны

из полифениленоксида, полученные из растворов в N-метил-2-пирролидоне (NMP), а также в диметилацетамиде с добавлением этанола и деканола.

В качестве исходных реагентов для приготовления формовочных растворов использовали ПФО марки 6130 (производства BASF, Германия) с молекулярной массой 250000. В ходе исследования были получены растворы с концентрацией полимера 15, 16 и 17% в системах N-метил-2-пирролидон (NMP), и смесях его с другими растворителями. В качестве осадительной ванны использованы вода, метанол (жесткий осадитель) и ДМАА (умеренно жесткий осадитель).

Растворы для получения мембран готовили в пробирках с насадками и стеклянной мешалкой шнекового типа, при температуре 50°C – для растворов в ДМАА и при 105 и 140°C – для растворов в NMP. Последовательность приготовления раствора: в пробирку засыпался ПФО, затем добавлялся растворитель, далее при постоянном перемешивании загружалось необходимое количество порообразователя.

Продолжительность приготовления раствора составляла 7 часов. Полученный раствор не фильтровали по причине невозможности осуществления из-за большой вязкости и угрозы возможности начала формования прямо на фильтре.

Мембраны формовали при атмосферном давлении приемных (внешних осадительных) ваннах при температурах 13, 25, 40, 60 и 80°C. Порядок получения мембран: растворение полимера, прогревание пробирки с раствором, подложки и фильтры в термошкафу, формование мембраны с помощью фильтры на подложке, окунание в приемную (внешнюю осадительную) ванну, выдержка в ванне в течение 24 часов.

Проведены поисковые работы по получению газоразделительных мембран на основе полифениленоксида. Установлено, что для ПФО марки 6130 хорошими растворяющими системами является смесь NMP и ТГФ, а также индивидуальный NMP. Растворение ПФО в NMP при температурах более 105°C сопровождается потемнением, что свидетельствует о сшивании полимера через окисление метиловых радикалов кислородом воздуха. Необходимо отметить наличие многократного относительно низкотемпературного обратного перехода в случае использования растворяющей смеси из NMP и другого растворителя, что весьма важно, так как целесообразно формовать полупроницаемые мембраны при температурах как можно более

близких к 22–25°C, что соответствует обычной комнатной температуре и не требует лишних затрат энергии на поддержание высокой температуры раствора ПФО, трубопроводов, фильтры и подложки. Мембраны, сформованные из растворов ПФО в NMP обладают в среднем селективностью около 2, что недостаточно для внедрения их в промышленность и потому данная разработка требует дальнейшего совершенствования.

Определены растворимость полифениленоксида в органических растворителях, числа осаждения для некоторых осадителей (метанол, изопропанол, ДМАА, ДМФА) для ПФО, а также максимальное количество осадителя, которое можно ввести в 20% раствор ПФО в ТХЭ и произведена оценка стабильности получаемых композиций. В результате проведенных экспериментов определены относительно стабильные составы, содержащие в качестве осадителей ДМАА, на основе которых получены и исследованы пленки. В качестве осадительной ванны использованы метанол (жесткий осадитель) и ДМАА (умеренно жесткий осадитель). Установлено, что использование метанола в качестве осадителя приводит к получению достаточно селективных материалов с фактором разделения около 4, а ДМАА – высокопроницаемых образцов с фактором разделения 2. Следует отметить, что указанные образцы получены из растворов, которые не подвергались фильтрации перед отливкой пленок из-за отсутствия технической возможности. Это означает, что полученные характеристики являются заниженными. Исследована возможность получения полых волокон из раствора, содержащего 17% ПФО, 5% изопропилового спирта в трихлорэтилене с использованием в качестве внутреннего осадителя метанола, а внешнего осадителя – ДМАА. Полученные образцы волокон имели очень высокую проницаемость по кислороду (800 – 1400 GPU) при факторе разделения 1.1 – 1.7.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.– 118 с.

2. Polyphenylene oxide and modified polyphenylene oxide membranes: gas, vapor and liquid separation / Geeta Chowdhury, Boguslaw Kruczekl, Takeshi Matsuura. Springer Science + Business Media New York.– 2001.

УДК 541.64:536.4

Студ. Д.Н. Черепко  
Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько  
(кафедра полимерных композиционных материалов, БГТУ)

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕРМОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Развитие техники требует создания все более тепло- и термостойких материалов [1–4]. Обычно термостойкими считают полимеры, физические и эксплуатационные свойства которых начинают заметно меняться лишь при температурах выше 250–300 °С. К числу термостойких полимеров относят некоторые карбоцепные полимеры (фторопласты, полифенилены, поли-*p*-ксилилены), гетероцепные и гетероциклические, ароматические полимеры (полигетероарилены), многие представители полиарилатов, ароматические полиамиды, полиимиды, элементоорганические полимеры. Особую группу термостойких полимеров составляют полимеры со сравнительно невысокой собственной термостойкостью, образующие при нагревании вторичные полимерные структуры, что обеспечивает эксплуатацию изделий на их основе при повышенных температурах. Получение значительного числа термостойких полимеров стало возможным благодаря разработке новых методов и способов их синтеза (полициклоконденсации, полициклотримеризации, низкотемпературной поликонденсации и др.). Термостойкие полимеры получают указанными способами из термически стойких мономеров, термически нестабильных полимеров, циклизацией линейных полимеров или их сшиванием. Стадию сшивания часто используют в случае получения неплавких и нерастворимых термостойких полимеров. Термостойкость полимеров определяется энергией резонанса гетероцикла, сопряжением гетеро- и карбоциклических колец, а также содержанием в макромолекулах карбоциклических циклов и групп, создающих циклы. В этой связи термостойкие полимеры можно разделить на три основные группы:

Первая – полигетероцепные полимеры, в которых ароматические звенья различного строения соединены между собой линейными связями или группами

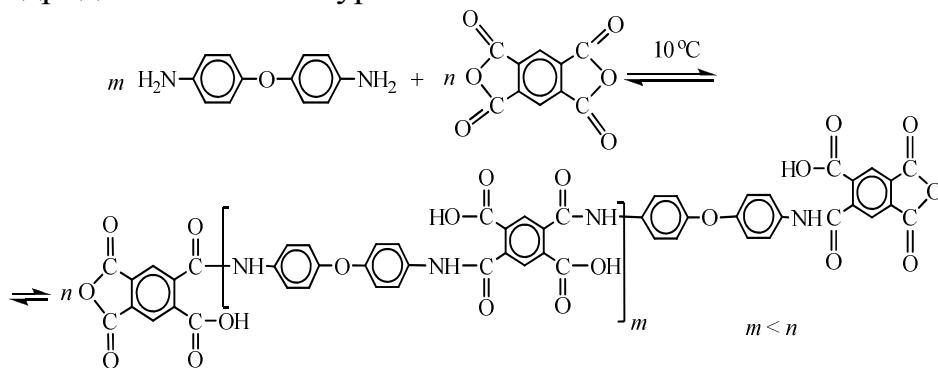
Вторая – полигетероциклические системы, в которых ароматические звенья в полимерной цепи разделены пяти- или шестичленными гетероциклами.

Третья – полимеры лестничного или полулестничного строения, в которых ароматический фрагмент в полимерной цепи соединены сложной последовательностью простых и двойных связей.

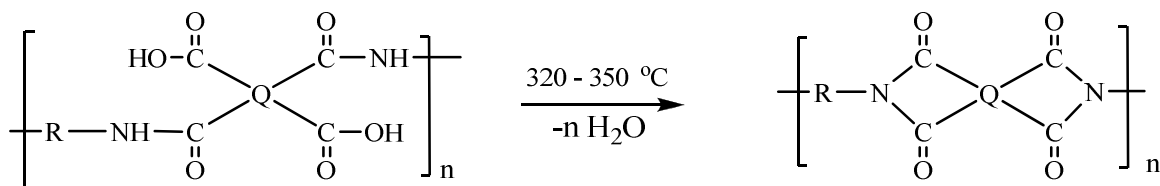
Представителями второй группы являются полиимиды [1-4] – синтетические термостойкие полимеры, содержащие в макромолекуле имидные группы. Важнейший представитель ароматических полиимидов – поли-4,4'-дифениленоксидпиромеллит-имид. Среди алифатических полиимидов, на примере полиалканимидов, наибольшее значение имеют полиимиды, получаемые на основе алифатических диаминов, содержащих не менее 9 атомов углерода в линейной цепи; к ним относится, например, поли-1,12-додекамелленпиромеллитимид. Полиалканимиды – термопластичные термостойкие полимеры с хорошими литьевыми свойствами, выдерживающие температурные нагрузки до 250–270 °С.

Для синтеза ароматических полиимидов используют двухстадийную схему. На первой стадии получают растворимые полиамидокислоты. В реакции используется амидный растворитель диметилформамид, диметилацетамид, диметилсульфоксид. На второй стадии в процессе ступенчатого нагревания до 300 °С сформованного изделия происходит твердофазная циклодегидратация (имилизация) полиамидокислоты в полиимид.

Схема реакции первой стадии синтеза с получением полиамидокислоты из 4,4'-диаминодифенилоксида и пиромеллитового диангида описывается уравнением:



Иногда имилизацию полиамидокислот (2-ая стадия синтеза линейных полиимидов), протекающую термическим способом по схеме:





проводят под действием химических дегидратирующих реагентов (уксусного ангидрида) в присутствии катализаторов третичных аминов (пиридина, триэтиламина или их смеси).

Для синтеза растворимых и термопластичных полиимидов используют одностадийную схему: полиамидокислоту не выделяют, а к её раствору добавляют ароматический углеводород и при нагревании раствора удаляют выделяющуюся при циклизации полиамидокислоты воду азеотропной отгонки.

Кремнийорганические полимеры – это соединения, содержащие цепочку атомов  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$ , модифицированную различными органическими группами. Кремнийорганические полимеры подразделяются на линейные, разветвленные, лестничные, сшитые. Серьезным преимуществом силоксановых эластомерных материалов является морозостойкость, а также способность длительно сохранять высокие эксплуатационные свойства при длительном воздействии агрессивных сред и высоких температур. Высокая термостойкость кремнийорганических полимеров объясняется, прежде всего, высокой энергией связи  $\text{Si}-\text{O}$  и спиралевидной структурой кремний органических соединений.

Благодаря уникальному сочетанию эксплуатационных свойств на основе этих полимеров получают практически все виды технических материалов, способных к длительной работе в технических устройствах, в условиях повышенных температур и уровней радиации.

Поэтому одной из основных задач, стоящих на сегодняшний день перед химиками-синтетиками в области высокомолекулярных соединений, является разработка и исследование полимеров нового поколения с уникальным комплексом свойств, расширяющих ассортимент полимерных материалов, пригодных для использования в современных отраслях новой техники, в том числе и в микроэлектронике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Полиимиды – новый класс термостойких полимеров / Н.А. Адрова [и др.]; под общ. ред. М.М. Котона. – Л.: Наука, 1968. – 212 с.
2. Полиимиды – класс термостойких полимеров / М.И. Бессонов [и др.]; под общ. ред. М.И. Бессонова. – Л.: Наука, 1983. – 308 с.
3. Бюллер, К.У. Тепло- и термостойкие полимеры / К.У. Бюллер – М.: Химия, 1984. – 530 с.
4. Полиимиды. Синтез, свойства, применение / Э.Т. Крутько [и др.]; под общ. ред. Н.Р. Прокопчука. – Минск: БГТУ, 2002. – 303.

УДК 542.9

Студ. А.Д. Струц

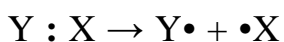
Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько

(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, БГТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КАТАЛИЗА ОКИСЛЕНИЯ БИЦИКЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ

Радикальные реакции занимают важное место в промышленности основного органического и нефтехимического синтеза. Большинство радикальных реакций являются цепными и состоят из трех главных стадий: зарождение цепи, при котором образуются свободные радикалы или атомы; продолжение цепи, ведущего к образованию продуктов реакции; обрыва цепи, когда происходит исчезновение свободных радикалов.

Зарождение цепи. Первоначальное образование свободных радикалов или атомов происходит обычно при гомолитическом разрыве какой-либо связи в молекуле:

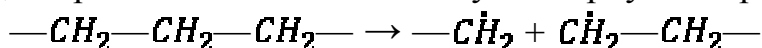


В органических соединениях гомолитический разрыв связи облегчается, когда образующиеся радикалы способны стабилизироваться за счет эффектов сопряжения и сверхсопряжения с неспаренным электроном радикала.

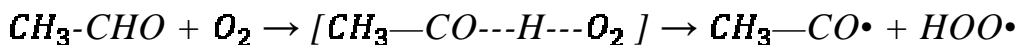
При термическом зарождении цепи энергия, необходимая для разрыва связей в молекуле одного из реагентов, подводится в виде тепла. Поскольку обратная гомолитическая реакция рекомбинации свободных атомов и радикалов происходит при каждом столкновении и имеют нулевую энергию активации, энергия активации при гомолитическом расщеплении молекулы равна тепловому эффекту, т.е. энергии разрыва связи:

$$E_{\text{эндо}} = E_{\text{экзо}} - \Delta H = Q$$

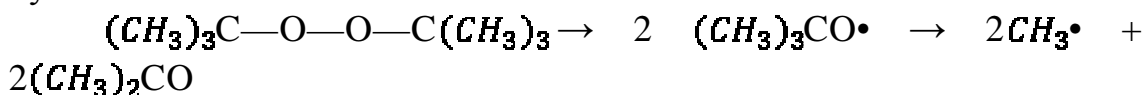
В молекулах углеводородов наименее прочной является С-С-связь, и при гомолитическом разрыве этих молекул в первую очередь рвется она:



При реакциях термического окисления образование связи атома водорода с кислородом способствуют факторы, ведущие к снижению энергии активации за счет одновременного выделения энергии при взаимодействии образующегося радикала с другим веществом. Такое влияние оказывает стенка сосуда или другие твердые поверхности, которые способны адсорбировать второй радикал и осуществлять гетерогенное зарождение цепи:



Химическое инициирование цепи. В большинстве случаев инициаторами являются вещества, малая энергия диссоциации которых на активные радикалы, способные к дальнейшему продолжению цепи, сообщается за счет одновременного образования стабильных молекул – ацетона из перекиси трет-бутила:



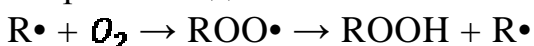
В отличие от катализаторов инициаторы во время реакции расходуются, и их концентрация постепенно уменьшается. Образующиеся при их распаде частицы переходят затем в стабильные вещества, которые содержатся в продуктах реакции в виде примесей.

Продолжение и обрыв цепи. Образовавшийся при зарождении цепи свободный атом или радикал обладает высокой реакционной способностью. Он начинает цепь превращений, ведущих к образованию продуктов реакции. Эта цепь складывается из элементарных стадий, специфических для каждой конкретной реакции. Последовательность элементарных реакций может повторяться, пока свободные радикалы не исчезнут. Таким образом осуществляется цепной процесс, в котором один радикал, образовавшийся на стадии зарождения цепи, приводит к образованию многих молекул продукта.

Обрыв цепи ведет к исчезновению свободного радикала или, по крайней мере, к превращению его в более стабильный радикал, не способный к продолжению цепи.

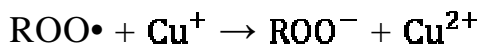
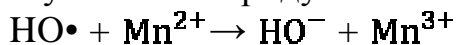
Для реакций замещение характерно вовлечения в цепь органического вещества за счет его бимолекулярной реакции со свободным атомом или радикалом. Последние всегда атакуют периферийные атомы молекулы, чаще всего атомы водорода. Поэтому большинство этих реакций состоит в замещение водорода органических веществ на те или иные функциональные группы.

Если процессы окисления ограничивают образование гидроперекисей или надкислот, звено цепи состоит всего из двух элементарных стадий:

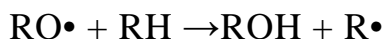
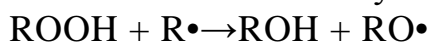


Для ускорения процесса жидкофазного окисления используют каталитические добавки или комплексы металлов, переменных валентностей. Роль их заключается не только в

образовании свободных радикалов на стадии инициирования по окислительно-восстановительным реакциям, но и в реакциях с промежуточными продуктами окисления:



Превращения гидропероксидов протекают сложнее – цепным путем и из них вначале получают спирты и кетоны:



При термическом окислении в газовой фазе все основные продукты образуются из перекисных радикалов.

В данной работе проведена радикально-ангидридцепное окисление. В реактор с мешалкой и обратным холодильником вводили 50 мл 70%-ной азотной кислоты с удельным весом 1,415 г/см<sup>3</sup>, затем добавляли 0,1 г (1 мас.% ) катализатора- ванадата аммония, молибдата аммония, азот кислотный индий или их смеси в массовом соотношении 3:1:1, соответственно, нагревали раствор до 55°C. Постепенно при перемешивании прибавляли 10 г ангидрида бициклооктендикарбоновой кислоты в течении 40 мин. Температуру реакционной смеси поддерживали 70-75°C. Реакционную смесь перемешивали в течении заданного времени, затем концентрировали в вакууме и выпавший осадок перекристаллизовали из воды. Выделяли продукт: 1,2,3,4-циклогексантетракарбоновую кислоту с  $T_{пл}$  167-168 °C. Вычислено для  $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_8$ .  $\text{H}_2\text{O},\%:\text{C} 43,15$ ; найдено, $\%:\text{C} 43,20$ ;  $\text{H} 5,07$ . ИК-спектр:  $\nu 1715 \text{ см}^{-1}$  (C=O карбоксильной группы).

Вывод: выход 1,2,3,4-циклогексантетракарбоновой кислоты при окислении был выше при использовании в качестве каталитических добавок выше указанных солей.

В последующем из циклооктентетракарбоновой кислоты будут получать стереоизомерные диангидриды (цис- и транс) – циклооктантетракарбоновой кислоты, а они являются мономерами для синтеза термостойких полимидов с циклоалифатическими фрагментами в цепях макромолекул.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев Н.Н. //Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза, Москва, 1971.
2. Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р. //Теоретические основы технологии производства органических веществ, Минск, 2007.

УДК 543.3

Студ. М.В. Станько

Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько, доц. Н.А. Коваленко  
(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, БГТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ NaCl И KCl В ВОДАХ МОЗЫРСКОГО РАЙОНА

Содержание соли в питьевой воде – это природная составляющая, которая зависит от характеристик той местности, где находится источник. Как правило, вода из поверхностных источников характеризуется меньшим содержанием растворённых солей, чем из подземных водоносных горизонтов. Воды с высоким содержанием солей достаточно легко распознать даже без специального анализа. Они имеют характерный горьковатый или солоноватый вкус. Содержание соли в воде (минерализация) определяется наличием в ней микроэлементов. Это кальций, магний, калий, натрий, хлориды, сульфаты. Максимальное содержание некоторых из них (например, таких как натрий, хлориды, сульфаты) регламентируется государственными санитарными нормами.

Вода, содержащая хлориды в количестве, превышающем 350 мг/л, имеет солоноватый привкус и неблагоприятно сказывается на желудочной секреции.

При попадании в организм человека, а также домашних животных воды, содержащей избыточное количество хлоридов: раздражаются слизистые оболочки, глаза, кожные покровы, дыхательные пути; ухудшается пищеварение; нарушается водно-солевой баланс; возникает вероятность развития заболеваний системы кровообращения; избыточное поступление в организм хлористого натрия увеличивает частоту сердечно-сосудистых заболеваний и др.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) хлоридов в воде не должна превышать 350 мг/л.

Хлорид натрия (поваренная соль). Используется для производства хлора, натрия, соды, гидроксида натрия, соляной кислоты, для консервирования, приготовления мыла, а также в быту в качестве пищевой соли.

Признаки нехватки натрия. Нехватка натрия обычно случается при чрезмерном потоотделении – в жарком климате или при физических нагрузках. Недостаток натрия в организме характеризуется ухудшением памяти и потерей аппетита, головокружением, быстрой утомляемостью, обезвоживанием, мышечной слабостью, а иногда – судорогами, кожными высыпаниями, желудочными спазмами, тошнотой, рвотой.

Признаки избытка натрия. Излишнее количество натрия в организме даёт о себе знать постоянной жаждой, отёками и аллергическими реакциями.

Хлорид калия. Действие на организм человека. Калий - основной внутриклеточный ион, играющий важную роль в регулировании функций организма. Показания для применения: нарушение сердечного ритма, интоксикация после введения сердечных гликозидов и диуретиков, недостаток калия в организме.

Хлорид калия является наиболее распространённым калийным удобрением. Применяется для производства гидроксида калия.

На анализ были взяты образцы воды из рек Припять и Неначь, колодца, технической воды с Мозырского машиностроительного завода и водопроводной воды из нескольких районов города Мозыря.

В данной работе концентрации NaCl и KCl при совместном содержании определялись с помощью эмиссионной фотометрии пламени на пламенном фотометре. Определение основано на измерении интенсивности света, излучаемого возбужденными атомами натрия и калия при введении анализируемого раствора в пламя горелки. Принцип метода заключается в следующем. Анализируемый раствор распыляют в виде аэрозоля в пламя горелки. Возникающее излучение определяемого элемента отделяется от постороннего с помощью светофильтра и, попадая на фотоэлемент, вызывает фототок, который измеряется с помощью микроамперметра

Одним из преимуществ метода фотометрии пламени является быстрое определение натрия и калия при совместном присутствии, поскольку резонансные линии в эмиссионных спектрах натрия и калия достаточно удалены друг от друга и легко разделяются при помощи светофильтров. При определении натрия используют наиболее чувствительные резонансные линии дублета 589,0 и 589,9 нм, при определении калия – 766,5 и 769,9 нм.

Необходимая для возбуждения атомов металлов температура 900–1000 °С достигается при сжигании смесей воздуха с природным газом.

В области разбавленных растворов интенсивность излучения и измеряемая с помощью прибора сила фототока линейно зависят от концентрации определяемого элемента.

Работу выполняли методом серии добавок. Для проведения анализа измеряли величины фототока пробы и нескольких растворов той же пробы с добавками стандартных растворов натрия и калия при двух светофильтрах. Строили два графика в координатах сила фототока - концентрация добавки и по ним находили концентрацию натрия и калий в исследуемой воде как величину отрезка, отсекаемого прямой на оси абсцисс. Метод добавок можно применять только в том случае, когда зависимость сигнала от концентрации является линейной, что необходимо проверить предварительно путём фотометрирования серии стандартных растворов.

Чаще всего метод добавок используют при анализе проб сложного состава, так как прирост аналитического сигнала при добавке стандартного раствора связан только с определяемым компонентом, а сигналы от мешающих компонентов пробы остаются постоянными.

Проанализировав данные образцы, мы получили следующие результаты.

**Таблица 1**

Образец №	1	2	3	4	5
Концентрация С, мг/л	362,35	315,59	321,44	373,93	184,095

В таблице 1 приведены найденные концентрации NaCl в воде:

1) технической с Мозырского машиностроительного завода 2) из реки Неначь 3) из реки Припять 4) колодца 5) водопроводной соответственно.

**Таблица 2**

Образец №	1	2	3	4	5
Концентрация С, мг/л	104,4	82,00	74,55	164,0	149,1

В таблице 2 приведены найденные концентрации KCl в воде:

1) технической с Мозырского машиностроительного завода, 2) из реки Неначь, 3) из реки Припять, 4) колодца, 5) водопроводной соответственно.

Вывод. Были найдены концентрации NaCl и KCl в воде, взятой из разных мест города Мозыря. Эти концентрации сравнили с нормами ПДК и оказалось, что по KCl всё соответствует норме, а по NaCl превышена норма для технической воды с Мозырского машиностроительного завода и воды из колодца концентрация там составляет 362,35 и 373,93 мг/л соответственно при норме ПДК=350 мг/л.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. — М.: Высшая школа, 2001.
2. Физико-химические методы анализа. Лабораторный практикум / Е.В. Радион [и др.]; под ред. Е.В. Радион. – Минск: БГТУ, 2010.
3. Физико-химические методы анализа: Тексты лекций по дисциплине «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» для студентов химико-технологических специальностей заочной формы обучения / А. Е. Соколовский, Е. В. Радион. – Минск.: БГТУ, 2007.
4. Таубе П.Р., Баранова А.Г. Химия и микробиология воды. – Москва: Высшая школа, 1983.

## **ВЛИЯНИЕ КРИОДЕСТРУКЦИИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНГИБИРУЮЩИЕ СОЛЕОТЛОЖЕНИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ**

Изучение вязкости жидкостей имеет большое значение для решения многих важных производственных вопросов. Например, количество энергии, необходимой для перемешивания жидкости, находится в прямой зависимости от вязкости жидкости, и поэтому без знания значений вязкости и закономерностей ее изменения нельзя произвести необходимых точных производственных расчетов. Вязкость жидкости можно определить как сопротивление жидкости передвижению одного ее слоя относительно другого. Вязкости разных жидкостей очень сильно отличаются друг от друга. Например, эфир обладает чрезвычайно ничтожным «внутренним трением», тогда как глицерин имеет высокую вязкость. Жидкости с очень высокой вязкостью во многих отношениях ведут себя подобно твердым веществам. Внутреннее трение возникает в жидкости вследствие взаимодействия молекул. В отличие от внешнего трения, возникающего в месте соприкосновения двух тел, внутреннее трение имеет место внутри движущейся среды между слоями с различными скоростями движения. Вязкость жидкости измеряется по ее сопротивлению к изменению формы без изменения объема. Коэффициент вязкости (или внутреннего трения) жидкости определяется как сила, необходимая для смещения слоя жидкости, обладающего поверхностью, равной единице, вдоль такого же неподвижного слоя со скоростью, равной единице, и на расстоянии, равном единице. В настоящее время высокую вязкость растворов полимеров связывают с цепочкообразным строением макромолекул и их большими размерами. Вопрос о вязкости растворов, содержащих крупные частицы или крупные молекулы, можно рассматривать с точки зрения гидродинамики, а именно: длинноцепочечные молекулы растворенного полимера оказывают гидродинамическое сопротивление течению жидкости, молекулы которой, огибая цепи, вынуждены замедлять свое движение. Если длинные молекулы располагаются поперек потока, то эффект сопротивления наибольший. Если под влиянием давления скорость течения раствора увеличивается, то длинные молекулы ориентируются по направлению потока и оказывают меньшее сопротивление течению жидкости,



следовательно, и вязкость раствора становится меньше. Этим объясняется изменение вязкости растворов полимеров в зависимости от давления [1]. На вязкость разбавленных растворов полимеров большое влияние оказывает молекулярная масса и форма молекул растворенного полимера [2]. Характеристическая вязкость  $[\eta]$  определяется не столько общей длиной цепи, однозначно связанной с молекулярной массой полимера, сколько эффективной длиной цепи в растворе. Только в случае предельно вытянутой цепи ее длина и молекулярная масса пропорциональны друг другу. Величина характеристической вязкости и тангенс угла наклона прямой  $\eta_{уд}/c=f(c)$  зависят от природы растворителя. Разные значения характеристической вязкости обусловлены тем, что в различных растворителях молекулярные клубки имеют неодинаковые размеры. В хороших растворителях клубки набухают больше, чем в плохих, поэтому в хороших растворителях характеристическая вязкость больше. Очень жесткие цепи, по-видимому, даже в разбавленных растворах в клубки не сворачиваются и в различных растворителях имеют близкие формы и размеры. Поэтому для таких полимеров наблюдаются одинаковые значения характеристической вязкости в растворах в разных растворителях. Значительное влияние оказывает растворитель на концентрационную зависимость приведенной вязкости.

Природные воды (атмосферная, поверхностная, подземная) представляют собой раствор солей, газов, веществ органического происхождения, некоторые из которых находятся во взвешенном состоянии. Состав грунтовых, озерных, речных вод может изменяться в широких пределах в зависимости от состава почв, пород, растительного мира, с которыми вода контактирует. В целом, примеси, содержащиеся в природной воде, можно разделить на следующие группы: нерастворимые в воде примеси, коллоидные вещества (органоминеральные частицы почв, гумусовые вещества, микроорганизмы и др.); растворенные газы; образованные вследствие диссоциации растворенных в воде солей катионы (в основном, натрий, кальций, калий, магний) и анионы (карбонаты, хлориды, сульфаты, нитраты, реже фториды) [3].

Удаление примесей последней группы является достаточно сложной задачей, особенно в условиях использования воды для технологических целей – в качестве теплоносителя или охладителя для основного технологического процесса в замкнутом водооборотном цикле. Охлаждение нагретой в результате использования технической воды, как правило, происходит за счет ее испарения в градирнях, что приводит к увеличению концентрации

примесей и образованию нерастворимых осадков - карбонатов кальция и магния. Существуют физические и химические способы стабилизационной обработки воды с целью снижения и устранения жесткости. Сущность химических методов заключается в использовании специальных реагентов – так называемых ингибиторов накипеобразования, которые, взаимодействуя с зарождающимися кристаллами солей жесткости в концентрированных растворах, изменяют их структуру, что препятствует росту кристаллов и не позволяет им формировать плотные покрытия на поверхности металла. При эксплуатации оборудования может происходить отложение солей на поверхности теплообмена. Это приводит к порче установок, закупориванию трубопроводов и внутренних поверхностей оборудования. Чтобы эффективно защитить оборудование используются специальные химические реагенты- ингибиторы солеотложений. Одним из способов устранения солеотложения является обработка воды комплексными ингибиторами солеотложений и коррозии на основе органофосфатов (ОФ) и полимерных соединений (как правило, на основе акриловой и малеиновой кислот).

Целью данной работы являлось изучение влияния криодеструкции на реологические и ингибирующие солеотложение свойства полимеров.

Исследования вязкости полимерных растворов проводили в соответствии с использованием вискозиметра Brookfield Model DV-II+PRO Viscometer. Эксперимент проводили, используя четыре полимерных раствора до криодеструкции и после криодеструкции: Performax DC5001 (HEDP, оксиэтилиденфосфоновая кислота); Performax 3-S224 (PBTCA, фосфонобутантрикарбоновая); Performax 3-S221(полималеиновая кислота). Было установлено, что вязкость растворов полимеров после выдерживания в поле криогенных температур существенно снижается, свидетельствующее о том, что под действием низких температур происходит разрушение полимерных макромолекул. Испытания показали, что криодеструкция практически не влияет на ингибирующие солеотложение свойства полимеров, но влияет на реологические свойства полимеров, снижая их вязкость. Установлено, что наилучшими свойствами обладают добавки - Performax DC5001 (HEDP, оксиэтилиденфосфоновая кислота) и Performax 3-S224 (PBTCA, фосфонобутантрикарбоновая).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тагер А.А. Растворы высокомолекулярных соединений. Л.: Наука. –1951. – 207 с.
2. Виноградов Г.В. Реология полимеров. М.: Химия, 1977.–440 с.

3. Цветков В.Н., Эскин В.Е., Фрэнк С.Я. Структура макромолекул в растворах. – М.: Наука, 1964. 719 с.

УДК 543.3

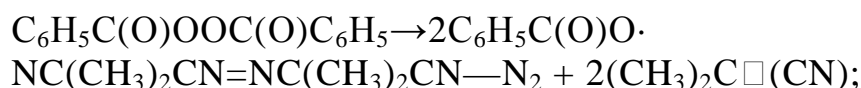
Студ. М.А. Селецкая  
Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько  
(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, БГТУ)

### **ИНИЦИИРОВАНИЕ И ИНГИБИРОВАНИЕ РЕАКЦИЙ В ОРГАНИЧЕСКОМ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ**

Ингибирование и инициирование широко используются в органическом синтезе для проведения и регулирования скорости радикальных реакций.

Инициирование химических реакций (от латинского initiator - зачинатель), возбуждение цепных химических реакций путём генерирования свободных радикалов или других реакционноспособных частиц. Химическое инициирование достигается:

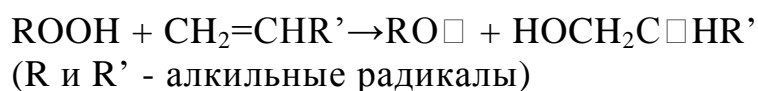
введением в реакционную среду легко распадающихся на свободные радикалы химических соединений - инициаторов, таких как пероксиды или азосоединения, например бензоилпероксида или азоизобутиронитрила, разлагающихся при слабом нагревании по схемам:



добавлением пероксида и соли металла переменной валентности, что приводит к окислительно-восстановительным реакциям с образованием радикалов, например при использовании реактива Фентона (смеси H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и FeSO<sub>4</sub>) радикалы генерируются по схеме:



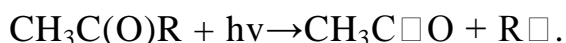
путём введения окислителя, при реакции которого с субстратом образуются радикалы, например при окислении алкенов гидропероксидами:



Константа скорости инициирования  $k_i$  равна  $2ekd$  где  $k_d$  - константа скорости распада инициатора на свободные радикалы,  $e$  -

вероятность выхода радикалов в объём (в данной среде) из «клетки», образованной молекулами растворителя [1].

Фотохимическое инициирование заключается в генерировании радикалов под действием видимого света или УФ-излучения из молекул субстрата или специально введённого фотоинициатора, например при фотолизе кетонов по схеме:



При радиационно-химическом инициировании радикалы образуются под действием ионизирующего излучения, например при действии пучка электронов или  $\gamma$ -лучей на молекулу воды возникают радикалы  $\text{H}\dot{\text{O}}$  и  $\text{HO}\dot{\text{O}}$ , которые инициируют цепной процесс.

Иницирующее внешнее воздействие на реакцию систему широко применяется в технологии получения полимеров и олигомеров, для вулканизации каучуков, в органическом синтезе для проведения радикальных реакций [2].

Ингибиторы (от лат *inhibeo* - останавливаю, сдерживаю), вещества, тормозящие химические реакции. Ингибирование характерно для каталитических и цепных реакций, которые протекают с участием активных центров или активных частиц. Тормозящее действие обусловлено тем, что ингибитор блокирует активные центры катализатора или реагирует с активными частицами с образованием малоактивных радикалов, не способных продолжать цепь. Ингибиторы вводятся в систему в концентрации много меньшей, чем концентрации реагирующих веществ (10<sup>-2</sup>-10<sup>-5</sup> моль%).

Ингибирование гетерогенно-каталитических реакций осуществляется в-вами, которые называются ядами каталитическими.

Торможение реакции обусловлено снижением активности катализатора вследствие адсорбции ингибитора на его поверхности.

Кинетика реакций с участием ингибиторов принципиально различна для каталитических и цепных реакций. В каталитической реакции число активных центров фиксировано, и ингибитор, блокируя часть из них, не расходуется в ходе процесса. Поэтому при введении ингибитора скорость реакции снижается, а затем процесс протекает длительное время с постоянной скоростью. В некоторых случаях эта скорость может медленно возрасти из-за расходования ингибитора по какой-либо побочной реакции. В цепной реакции активные частицы непрерывно генерируются, что приводит к расходование ингибитора и постепенному самоускорению реакции (в случае цепной

неразветвленной реакции обычно восстанавливается исходная скорость) [3].

Ингибиторы окислительных реакций тормозят окисление молекулярным кислородом; они добавляются к топливам, маслам и смазкам для замедления их окисления при хранении и в процессе применения.

В качестве ингибиторов окислительных реакций используют главным образом фенолы, ароматические амины и некоторые сернистые соединения. Например, в бензины добавляют фенил-п-аминофенол, 2,4-диметил-6-трет-бутилфенол, 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол (техническое название тонанол-О) и др.

Ингибиторы химические, вводимые с той же целью в смазочные масла, обладают обычно сложной химической природой и, помимо повышения стойкости к окислению, улучшают также и ряд других эксплуатационных характеристик масел [4].

Ингибиторы полимеризации задерживают или замедляют полимеризацию мономеров (а также олигомеров) при их хранении или перегонке. Ингибиторы полимеризации должны предохранять не только от спонтанной полимеризации, но и от окисления кислородом воздуха. Ингибиторами полимеризации являются сера, фенолы, таннин, канифоль, соли меди и др.

Применение. Ингибирование широко используется для регулирования скорости радикальной полимеризации, в частности при получении изделий большого объема. Ингибиторы окисления используют для стабилизации полиолефинов и каучуков при их переработке и в условиях эксплуатации), для стабилизации смазочных материалов и углеводородных топлив, сохранения пищевых жиров и лекарственных препаратов; в технологии получения мономеров они используются для предотвращения окислительной полимеризации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шляпников Ю. А., Кирюгакин С. Г., Марьин А. П., Антиокислительная стабилизация полимеров, М., 1986 – 128 с.
2. Лебедев Н.Н. //Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза, Москва, 1971 – 210 с.
3. Денисов Е. Т., Денисова Т. Г., Покидова Т. С. Книга свободных радикальных инициаторов. Уайли, 2003 – 306 с.
4. Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р. //Теоретические основы технологии производства органических веществ, Минск, 2007 – 133 с.

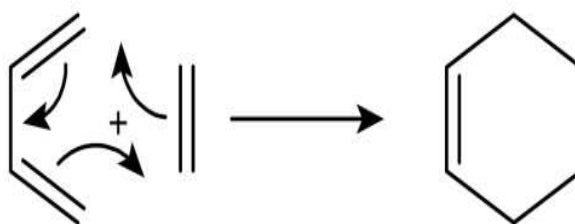
## ОПТИМИЗАЦИЯ СИНТЕЗА АНГИДРИДА БИЦИКЛООКТЕН ДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ ПО РЕАКЦИИ ДИЛЬСА-АЛЬДЕРА

Реакция Дильса-Альдера (диеновый синтез) – реакция [4+2]-циклоприсоединения диенофилов и сопряжённых диенов с образованием шестичленного цикла.

В реакцию вступают циклические и ациклические сопряжённые диены, енины ( $-C=C-C\equiv C-$ ) или их гетероаналоги — соединения с фрагментами  $-C=C-C=O$ ,  $-C=C-C\equiv N$ . Диенофилами обычно являются алкены и алкины с кратной связью, активированной электроноакцепторными заместителями. В роли диенофилов также могут выступать соединения, содержащие двойные связи с гетероатомом (например  $>C=O$ ,  $>C=N-$ ,  $-CN$ ,  $-N=O$ ,  $-S=O$ ,  $-N=N-$ ).

В 1902 году в лаборатории И. Тиле аспирантом В. Альбрехтом была проведена реакция между циклопентадиеном и бензохиноном с целью получения сопряжённого полиена, однако вместо ожидаемого продукта конденсации было получено два дикетона – продукты присоединения одной или двух молекул циклопентадиена по двойным связям хинона. Строение полученных веществ не было установлено, а реакция не получила дальнейшего развития в этой лаборатории.

Также протекание реакции Дильса-Альдера наблюдали в 1910 году Лебедев (при димеризации изопрена), а в 1920 году – Эйлер и Джозефсон (при взаимодействии изопрена с бензохиноном). Простейший пример реакции Дильса-Альдера:



Систематическое изучение реакции между 1,3-диенами и сопряжёнными кетонами было проведено Отто Дильсом и Куртом Альдером в 1928 году и опубликовано в научном журнале. Авторы статьи привели свидетельства общего характера реакции, а также с уверенностью указали на возможность её использования в синтезе природных соединений, при этом заявив: «Мы со всей

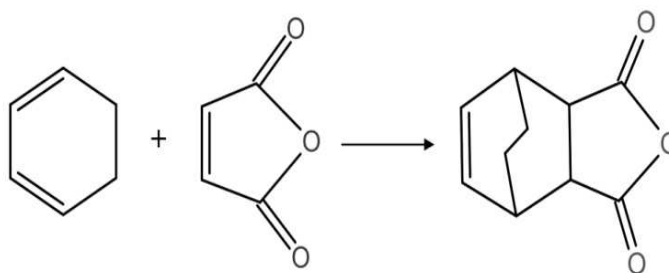
определённостью оставляем за собой права на использование открытой нами реакции для решения многих синтетических проблем».

В следующие за открытием годы были изучены основные закономерности протекания реакции и показана широкая область её применимости, а авторы открытия Дильс и Альдер в 1950 году были удостоены Нобелевской премии по химии.

Реакция Дильса—Альдера используется для получения полициклических соединений, в том числе стероидов. С помощью этой реакции, также возможно получение многих хлорорганических пестицидов циклодиенового ряда: альдрин и его производных, гептахлора, наохла, хлордана, мирекса и так далее.

Реакция Дильса—Альдера имеет место и при синтезе алкидно-стирольных олигоэфиров – плёнообразователей для лакокрасочных материалов. Например в основе процесса получения алкидно-стирольных сополимеров лежит реакция сополимеризации стирола с двойными связями жирнокислотных остатков растительных масел. Стирол хорошо сополимеризуется с жирными кислотами, имеющими сопряжённые двойные связи (жирные кислоты тунгового и дегидратированного касторового масел).

В данной работе нами осуществлён синтез ангидрида бицикло/2,2,2/-окт-5-ен-2,3 дикарбоновой кислоты или просто АБОК, путём конденсации циклогексадиена-1,3 с малеиновым ангидридом по реакции Дильса-Альдера. Реакция проводилась следующим образом: в реактор, снабжённый мешалкой, обратным холодильником, капельной воронкой вводили расчётное количество малеинового ангидрида, растворённого в 300 мл свежеперегнанного бензола. Затем медленно по каплям прибавляли из капельной воронки циклогексадиен (60 мл). Температуру реакционной среды поддерживали при  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ . После окончания синтеза раствор охлаждали, образовавшиеся кристаллы ангидрида бицикло/2,2,2/-окт-5-ен-2,3 дикарбоновой кислоты отфильтровывали, а затем перекристаллизовывали из смеси бензол : петролейный эфир (1 : 1) и получали 60 г (58%) АБОК с  $T_{\text{пл.}} 147\text{--}149^\circ\text{C}$ .

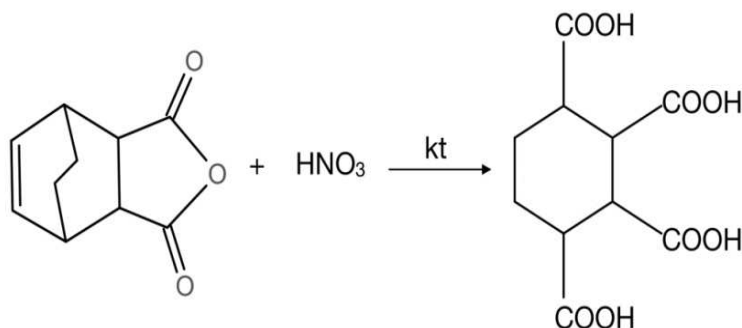


Для увеличения выхода АБОК нами исследована возможность использования другого растворителя для синтеза. Из ряда растворителей, которые использовались для синтеза АБОК, такие как толуол, гексан, дибутиловый эфир фталевой кислоты, наиболее подходящим оказался дибутиловый эфир фталевой кислоты. Выход целевого продукта составил 68%, что на 10% выше, чем при использовании в качестве растворителя бензола, толуола и гексана.

При использовании дибутилфталата в качестве растворителя при синтезе аддукта Дильса-Альдера АБОК, удалось вдвое сократить время синтеза (с 1 часа до 30 минут), и увеличить выход целевого продукта до 68%.

Температура процесса синтеза при использовании дибутилового эфира фталевой кислоты составляла  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ . С увеличением температуры сокращалось время проведения синтеза. При температуре  $160^\circ\text{C}$  процесс конденсации циклогексадиена с малеиновым ангидридом протекал в течение 3–5 минут. Образовавшийся аддукт получался с выходом 58–60%.

Полученный ангидрид затем окисляли в 1,2,3,4-циклогексантетракарбоновую кислоту, а из неё синтезировали диангидрид циклогексантетракарбоновой кислоты для синтеза циклоалифатического полиамида.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая модификация пленкообразующих веществ : учеб. пособие для студентов специальности «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» / Н. Р. Прокопчук, Э. Т. Крутько, А. И. Глоба. – Минск : БГТУ, 2012. – 381 с.

2. Щербина А. Э., Матусевич Л.Г., Сенько И. В., Звонко А. М. Органическая химия. Реакционная способность основных классов органических соединений. Учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей. Мн.: БГТУ, 2000. 624 с.

3. Химическая энциклопедия. В пяти томах. / Гл. ред. И. Л. Кнунянц. – Советская энциклопедия, 1990. – Т. 2. – С. 54–55.



УДК 543.3

Студ. Д.Д. Ключенович  
Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько, ст. преп. Г.Н. Супиченко  
(кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, БГТУ)

## **МОНИТОРИНГ ОБРАЗЦОВ ВОДЫ В РЕГИОНЕ СОЛИГОРСКОГО РАЙОНА НА СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРИДОВ КАЛИЯ И НАТРИЯ**

Щелочные металлы имеют огромное биологическое значение. Натрий и калий – это элементы, которые постоянно содержатся в организме животных и растений. Актуальным является определение содержания ионов натрия и калия в природных водах и сравнение его с требованиями предельно допустимых концентраций (ПДК).

Объект исследования: природные и питьевые воды Солигорского района. Предмет исследования: содержание ионов натрия и калия в различных водах Солигорского района.

Целью данной работы являлось определение содержания ионов натрия и калия в природных и питьевых водах Солигорского района.

Для осуществления поставленной цели были сформулированы следующие задачи: провести обзор литературы о свойствах щелочных металлов (натрия и калия); освоить метод эмиссионной фотометрии пламени определения совместного содержания ионов натрия и калия; экспериментально определить содержание ионов натрия и калия в пробах различных источников природных вод; сравнить полученные результаты с требованиями ПДК.

Натрий и калий относятся к числу довольно распространенных элементов. В свободном виде калий и натрий в природе не встречаются. Эти щелочные металлы входят в состав различных соединений. Наиболее важным является соединение натрия и калия с хлором  $\text{NaCl}\cdot\text{KCl}$  – сильвинит, которое образует залежи калийной соли. Крупнейшие залежи калийной соли разведаны и эксплуатируются в г. Солигорске. Натрий – один из основных элементов, участвующих в минеральном обмене животных и человека. Содержится главным образом во внеклеточных жидкостях; участвует в поддержании осмотического давления и кислотно-щелочного равновесия. Суточная потребность человека в хлористом натрии колеблется от 2 до 10 г и зависит от количества этой соли, теряемой с потом.

Калий – один из биогенных элементов, постоянная составная часть растений и животных. Суточная потребность в калии у взрослого человека (2–3 г) покрывается за счет мяса и растений.

Многие морские организмы извлекают калий из воды. Растения получают калий из почвы. В растениях калий распределяется неравномерно: в вегетативных органах растения его больше, чем в корнях и семенах. При недостатке калия в почвах замедляется рост растений, повышается заболеваемость.

Для проведения анализа был выбран метод эмиссионной фотометрии пламени. Этот метод состоит в том, что анализируемый образец переводят в раствор, который затем с помощью распылителя превращается в аэрозоль и подается в пламя горелки. Растворитель испаряется, а элементы, возбуждаясь, излучают спектр. Анализируемая спектральная линия выделяется с помощью светофильтра, а интенсивность ее свечения измеряется фотоэлементом. Из-за невысокой температуры в пламени возбуждаются элементы с низкими потенциалами возбуждения в первую очередь щелочные элементы, для определения которых практически нет экспрессных химических методов. Всего этим методом определяют более 70 элементов.

Главное преимущество этого метода по сравнению с другими методами анализа – быстрое определение натрия и калия при совместном присутствии, поскольку резонансные линии в эмиссионных спектрах натрия и калия достаточно удалены друг от друга и легко разделяются при помощи светофильтров.

Для практического применения метода прямой эмиссионной фотометрии пламени были выбраны следующие образцы природных вод: колодезная вода (Солигорский район, п.г.т Старобин); река Случь (Солигорский район); Солигорское водохранилище; Родник (Солигорский район); водопроводная вода; скважина (Поселок Погост-2) и шламонакопитель.

Исходя из данных ПДК: для ионов  $\text{Na}^+$  ПДК = 200 мг/л; для ионов  $\text{K}^+$  ПДК = 12 мг/л.

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы (см. табл. 1): шламонакопитель содержит наибольшее количество ионов натрия и калия – 57 300 и 143 000 мг/л соответственно; река Случь является источником с наименьшим содержанием ионов калия – 2,9 мг/л; наименьшее содержание ионов натрия наблюдается в водопроводной воде – 6,1 мг/л; скважина поселка Погост-2 – источник с наибольшим содержанием ионов натрия и калия после шламонакопителя – 54,6 и 39,1 мг/л соответственно.

Относительная ошибка эксперимента  $\pm 3-5 \%$ .

**Таблица 1 – Содержание ионов натрия и калия  
в исследуемых образцах**

Название источника	Содержание ионов натрия, мг/л	Содержание ионов калия, мг/л
Водопроводная вода	6,1	3,2
Колодезная вода (Солигорский район, п.г.т Старобин)	29,2	31,8
Река Случь	13,8	2,9
Родник (Солигорский район)	19,6	3,9
Скважина (Поселок Погост-2)	54,6	39,1
Солигорское водохранилище	38,5	35,2
Шламонакопитель	57 300	143 000

В ходе исследования установлено, что значения определяемых величин по содержанию натрия и калия лежат в диапазоне требований ПДК, кроме шламонакопителя. Но и это входит в диапазон нормы, так как шламонакопитель используется по своему прямому назначению: для хранения и осаждения вымываемых солей натрия и калия.

Также можно сделать следующий вывод: чем удалённее речная система от Солигорских солеотвалов и шламонакопителей, тем содержание ионов натрия и калия меньше.

Если учитывать среднюю суточную норму потребления ионов натрия и калия организмом человека, можно сделать вывод, что водопроводная вода пригодна для каждодневного питья. Вода содержит около 35% от суточной нормы потребления данных ионов. Но обязательно необходимо учитывать, что продукты питания, которые человек употребляет ежедневно, также содержат натрий и калий, а переизбыток приводит к различным проблемам со здоровьем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. — Москва: Высшая школа, 2001.
2. Физико-химические методы анализа. Лабораторный практикум / Е.В. Радион [и др.]; под ред. Е.В. Радион. – Минск: БГТУ, 2010. – 110 с.
3. Физико-химические методы анализа: Тексты лекций по дисциплине «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» для студентов химико-технологических специальностей заочной формы обучения / А. Е. Соколовский, Е. В. Радион. – Минск.: БГТУ, 2007. – 128 с.
4. Таубе П.Р., Баранова А.Г. Химия и микробиология воды. – Москва: Высшая школа, 1983. – 275 с.

УДК 66.061.18

Студ. М.В. Агеенко  
Науч. рук. проф. Э.Т. Крутько  
(кафедра полимерных композиционных материалов БГТУ)  
зав.лаб., доц. О.Н. Опанасенко  
(ИОНХ НАН Беларуси)

## **МОДИФИЦИРОВАНИЕ БИТУМА СОПОЛИМЕРОМ СТИРОЛ-БУТАДИЕН-СТИРОЛА В ПРИСУТСТВИИ ПАВ**

Битум является олеофильной коллоидной системой и представляет собой смесь высокомолекулярных углеводородов нефти и их гетеропроизводных, содержащих кислород, серу, азот и металлы (ванадий, железо, никель, натрий и др.). Химический состав битумов представляет совокупность более чем 300 соединений, отдельные компоненты которой не удается выделить с достаточной чистотой, поэтому их делят на три основные группы: асфальтены, смолы и масла. Эти три группы компонентов битумов определяют, в основном, их структурное состояние и свойства [1].

Битум является одним из основных материалов, применяемых в дорожно-строительных технологиях. Он применяется при производстве асфальтобетонов, устройстве поверхностной обработки, строительстве новых дорог, покрытий аэродромов и мостов. Модифицирование битумов добавками полимеров способно существенно улучшить его свойства, в результате чего увеличивается срок эксплуатации битумного материала при сохранении его высоких потребительских характеристик. Использование полимеров и их композиций для модификации битумов неразрывно связано с их способностью образовывать трехмерную сетку и вследствие этого, переходить в нетекучее (и неплавкое) состояние [2].

Задачи получения оптимальных по свойствам и качествам битумных композиций заключаются в следующем:

1. Сохранение полезных свойств битума при совмещении с полимерным материалом.
2. Придание композиции свойств, максимально приближающихся к свойствам полимера при его минимальной добавке.

На совместимость полимера с битумом огромное влияние оказывает его молекулярная масса – чем она выше, тем хуже совместим полимер с битумом. Низкомолекулярные олигомеры часто хорошо совместимы с битумом, но разжижают его, снижая температуру размягчения и механическую прочность. Высокомолекулярные соединения, напротив, способствуют

улучшению физико-химических характеристик полимербитумных композиций (ПБК). Поэтому необходимо сочетание низко- и высокомолекулярных полимеров для получения оптимальной совместимости, и желаемых свойств композиции. Несмотря на широкое применение модифицированных битумов на практике, критерии их применения (молекулярная масса (ММ), оптимальные пределы содержания полимера) до сих пор носят в основном эмпирический характер. Для придания модифицированному битуму свойств полимерного материала необходимо образование в ПБК пространственной каркасной сетки полимера, что возможно при критической концентрации структурообразования (ККС). Выше ККС полимера в композиции начинается перекрывание частиц дисперсной фазы и систему можно рассматривать как полимер, наполненный битумом. Следовательно, модификацию битума полимерами можно охарактеризовать двумя ККС полимера в битуме - нижней ККС и верхней ККС. Эти концентрации определяются на основе теории устойчивости коллоидных систем [3]. В качестве эффективной модифицирующей добавки для битума нашел применение синтетический каучук на основе сополимера стирол-бутадиен-стирола (СБС). Блок-сополимеры СБС – это линейные (С-Б-С) или разветвленные (С-Б-) $n$  полимеры, типа А-В-А. Наружные (концевые) блоки (А) полимерной цепи являются идентичными сегментами полистирола, имеющими термопластическую природу с температурой перехода в стеклообразное состояние около 10000С, а средний блок является эластомерным и состоит из полибутадиена, или полиизопрена, температура стеклования которого ниже -950С. Полистирольные сегменты обеспечивают высокую прочность материала, а полибутадиеновые придают системе высокую эластичность и отличные низкотемпературные свойства [4]. Однако модифицирование битума сополимерами СБС сопровождается рядом трудностей. В связи с этим применение СБС требует дополнительного введения тех или иных химических соединений, позволяющих устранить основные недостатки СБС-модифицированных битумов.

В данном исследовании для улучшения свойств полимербитумных композиций мы использовали модифицирование ПБК адгезионной добавкой марки «Белад», которая содержит реакционноспособные фосфорсодержащие к асфальтенам битума группы полифосфорной кислоты. Указанная добавка позволила увеличить адгезионную способность ПБК к поверхности минерального материала и снизить вязкость композиции. В качестве объектов исследования использовались следующие материалы: битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД

60/90 и битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 90/130 производства ОАО «НАФТАН» (г.Новополоцк); блок-сополимер стирола и бутадиена марки KratonD-1101; адгезионную добавку марки «Белад», содержащую реакционноспособные фосфорсодержащие группы полифосфорной кислоты.

Образцы для испытаний готовили следующим образом: битум вводили адгезионную добавку при комнатной температуре, затем разогревали его до 160°C и вводили сополимер СБС небольшими порциями. Полноту растворения оценивали по однородности битумно-полимерной пленки на ротационном вискозиметре «Реотест-2». Адгезию определяли по стандартному методу «Активного сцепления» (ГОСТ-11508), с изменениями (вместо песка или мрамора использовался гранитный щебень фракции 4,0 – 6,3 мм). Определение структурно-реологических характеристик проводили на ротационном вискозиметре «Реотест-2» с использованием конусо-пластиночного измерительного устройства, принцип работы которого основан на измерении вязкости материала, помещенного между соосными поверхностями и подвергнутому сдвигу.

На основании анализа экспериментальных данных, установлено, что сополимеры СБС, способствуют улучшению сцепления битума с минеральным материалом с кислой природой поверхности от 10 до 20%, при добавлении адгезионной добавки к ПБК на основе СБС – от 20 до 85%. Более высокие адгезионные свойства у ПБК, приготовленных с использованием ПАВ, объясняются присутствием в их составе активных групп, взаимодействующих с асфальтенами. При этом показано, что значения эффективной вязкости ПБК на основе СБС и ПАВ в несколько раз меньше по сравнению со значениями эффективной вязкости ПБК с использованием только СБС. Таким образом введение адгезионной добавки марки «Белад» приводит к улучшению пластичности битума и облегчению условий его модифицирования полимером.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гун, Р.Б. Нефтяные битумы / Р.Б. Гун. – М.: «Химия», 1973. – 429 с.
2. Малкин, А.Я. Реология в процессах образования и превращения полимеров/ А.Я.Малкин, С.Г. Куличихин. – Москва: Химия, 1985. – 240 с.
3. Неппер, Д. Стабилизация коллоидных дисперсий полимерами / Д. Неппер; под ред. Ю.С. Липатова. – Москва: Мир, 1986. – 487 с.
4. Вонк, В.С. Совершенствование дорожных битумов с помощью эластомеров / В.С. Вонк, Г. ван Гоосвиллиген. – Амстердам: Shell Chemicals, 1992. – 16 с. – (Технический бюллетень).

УДК 665.585.5

Студ. П.А. Линицкий  
Науч. рук. зав. кафедрой В.Л. Флейшер  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## **ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ЗАГУЩЕНИЯ БЕЗСУЛЬФАТНЫХ СИСТЕМ ПАВ**

Одним из главных элементов гигиены современного человека является мытье волос, которое сложно представить без основного косметического средства – шампуня.

В современной промышленности средства для ухода за волосами относятся к косметической продукции. Их вырабатывают в трех группах: гигиенические средства, необходимые для поддержания волос и кожи головы в здоровом состоянии; лечебно-профилактические средства, позволяющие предупреждать и лечить различные заболевания волос и кожи головы; декоративные товары используемые для скрытия недостатков.

Являясь не только украшением человека, волосы выполняют защитные функции. Они предохраняют голову от холода, ветра, пыли и воздействия солнечных лучей. Вредные воздействия окружающей среды, постоянные стрессы, плохое самочувствие приводят к загрязнению волос, потере блеска и эластичности. Основными косметическими товарами для ухода за волосами являются шампуни и бальзамы применяемые в качестве гигиенических средств. Основные функции средств для ухода за волосами – очищать волосы от пыли и грязи, удалять жировые выделения, очищать кожу головы от отмирающих клеток, питать, увлажнять и укреплять волосы, придавая им красивый и здоровый внешний вид.

В состав большинства шампуней входят сульфаты (лауретсульфат натрия, лаурилсульфат натрия и др.), за счет чего они очень хорошо пенятся, промывают от излишков жира волосы, прибавляют им объем, даже помогают побороть такую проблему, как перхоть. Сульфатные шампуни ослабляют защитный липидный слой волос и кожи головы. Накопленные сульфаты и парабены могут со временем проникнуть глубоко в эпидермис, тем самым провоцируя развитие серьезных заболеваний. В связи с этим возникает необходимость разработки рецептур, которые не содержат в своем составе сульфатов.

Целью работы является составление рецептуры шампуня и исследовать влияние загустителей на вязкость системы ПАВ.

*Выполнение работы:* шампунь готовили путем смешения фаз А и Б.

*Получение фазы А.* В коническую колбу (250 см<sup>3</sup>) вносили часть рецептурного количества воды после чего добавляли остальные компоненты согласно таблице 1. Смесь при периодическом перемешивании выдерживали на водяной бане при 50–55°С до полного растворения компонентов. Далее фазу А охлаждали до 25–30°С.

*Получение фазы Б.* В химический стакан (100 см<sup>3</sup>) вносили глицерин и растворяют в нем загуститель. К полученной массе приливали оставшееся рецептурное количество воды и перемешивали.

*Смешение фаз.* В фазу Б вносили фазу А, рН 5,5–6,0 регулировали добавлением лимонной кислоты. Перемешивали до однородного состояния на водяной бане при 40–45°С. После чего готовый продукт охлаждали до 25–30°С.

**Таблица 1 – Компонентный состав шампуня**

Фаза	Компонент	Количество, масс. %
А	Вода	40,4
	Decyl glucoside	5
	Cocamide DEA	5
	Setacine 103	5
	Cocamidpropyl betain	7
	Empigen 5151	5
	Rokonsal	0,08
	EDTA	0,1
	PQ – 7	0,3
	Ароматизатор	0,15
Б	Глицерин	2
	Загуститель	х
	Вода	30–х

Для загущения системы ПАВ использовали: Guar Gum, полиакрилат натрия, Xantan Gum, Carbomer, поваренную соль, Antyl–200. Вязкость определяли на вискозиметре Брукфильда в соответствии с ГОСТ 25271-93, рН шампуня определяли на рН-метре по ГОСТ 29188.2-91, для определение пенообразующей способности и устойчивости пены использовали прибор Росс-Майлса в соответствии с ГОСТ 22567.1-77. Применение поваренной соли в качестве загустителя не позволило получить продукт с необходимой вязкостью. Варьируя условиями среды не удалось добиться увеличения вязкости системы. Система ПАВ с загустителем Guar Gum не обладала достаточной вязкостью. Во всех образцах имелся осадок в виде несвязанного загустителя, при этом с увеличением его концентрации количество осадка пропорционально



возрастало. Изменение условий среды (рН) не влияло на вязкость системы и количество осадка.

Необходимой вязкости (8000 сР) в продуктах удалось добиться с применением в качестве гелеобразователей поликрилата натрия и Carbomer; загустителей Xantan Gum и Antyl 200 (таблица 2). Все образцы, за исключением Antyl 200, для удовлетворения эстетических свойств потребителя нуждаются в применении замутнителя.

**Таблица 2 – Компонентный состав (фаза Б). Показатели качества**

Компонент	Опыт №1, г	Опыт №2, г	Опыт №3, г
Глицерин, г	2	2	2
Опыт №1 (полиакрилат натрия)			
Загуститель, г	0,3	0,5	0,7
Вода, г	29,7	29,5	26,0
Вязкость, сР	409,6	12416,0	13978,0
Опыт №2(Xantan Gum)			
Загуститель, г	0,3	0,5	1
Вода, г	29,7	29,5	29,0
Вязкость, сР	10250,0	12160,0	расслоение
Опыт №3 (Carbomer).			
Загуститель, г	0,3	0,5	0,7
Вода, г	29,7	29,5	29,3
Вязкость, сР	14720,0	14259,0	13517,0
Опыт №4 (Antyl-200)			
Загуститель, г	0,5	1	2
Соль, г	0,5	0,5	0,5
Вода, г	29	28,5	27,5
Вязкость, сР	4970,0	6170,0	8013,0

Все образцы, обладающие необходимой вязкостью, удовлетворяют требованиям ГОСТ 31696-2012 «Продукция косметическая гигиеническая моющая. Общие технические условия». Пенное число всех продуктов значительно выше минимально допустимого, что позволяет уменьшить количество наносимого средства, тем самым продлить срок эксплуатации товара. Устойчивость пены образцов составляет 97,3–98,0%, что гарантирует шампуню выполнение основных функции – очищение волос от пыли и грязи, удаление жировых выделений, очищение кожи головы от отмирающих клеток.

Таким образом, лучшим является образец №6 с загустителем Antyl 200. Продукт на его основе обладает необходимой вязкостью и презентабельным внешним видом. Недостатком данного средства является необходимость введение большого количества загустителя (2%) по сравнению с образцами №3 Xantan Gum и №4 Carbomer, где необходимая вязкость достигается при концентрации 0,3%.

УДК 665.327.3

Студ. М.А. Дворанинович  
Науч. рук. доц. Ж. В. Бондаренко  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## **ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА РОЗМАРИНА НА СВОЙСТВА КРЕМА, СОДЕРЖАЩЕГО РАСТИТЕЛЬНОЕ МАСЛО**

Тенденция развития современной химии и технологии косметических средств заключается в повышении безопасности и эффективности косметической продукции, что во многом определяет обоснованным выбором ингредиентов, соответствующей технологией изготовления и контролем качества исходного сырья и готовой продукции. Важным компонентом кремов являются растительные масла. Однако они склонны к окислению, что требует обязательного использования в составе кремов антиоксидантов. Также в составе кремов используют растительные экстракты, которые обладают широким спектром свойств [1].

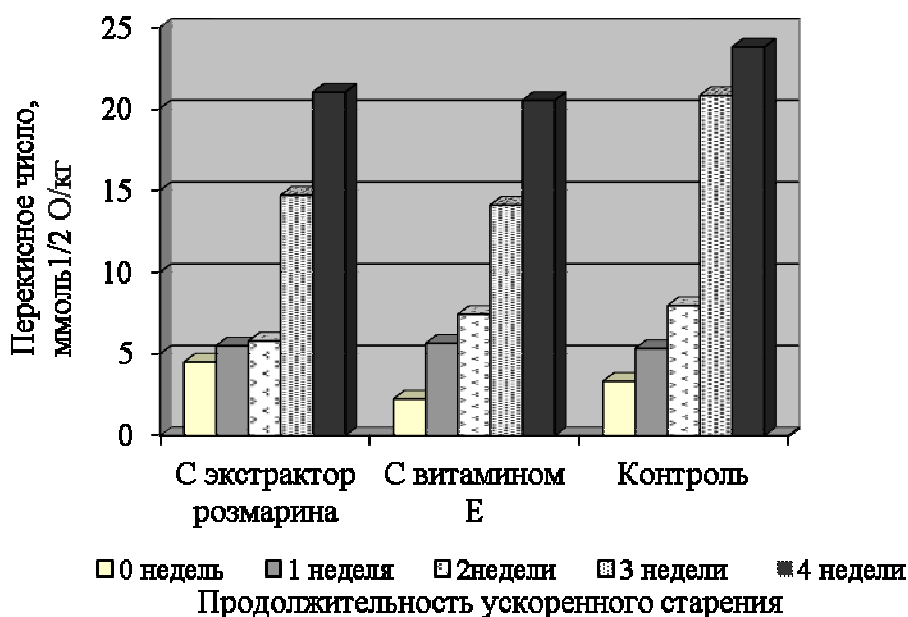
Цель данной работы заключалась в изучении влияния растительного экстракта розмарина на свойства крема, содержащего растительное масло. В качестве растительного масла в составе крема использовали оливковое масло, так как оно содержит большое количество ненасыщенных жирных кислот, а так же витамины, минералы и другие полезные компоненты.

Предварительно было исследовано влияние растительного экстракта розмарина (0,03–0,12%) на свойства оливкового масла и его устойчивость к окислению в условия ускоренного старения при температуре 40–42<sup>0</sup>С. Установлено, что экстракт розмарина практически не влияет на органолептические свойства оливкового масла и его физико-химические показатели. Устойчивость к окислению масла при термообработке оценивали по изменению перекисного и кислотного числа. Наименьшие изменения этих показателей происходит при расходе экстракта розмарина в количестве 0,03% [1]. Данный расход был выбран для получения эмульсионного крема.

Состав крема: самоэмульгирующая основа Липодерм 4/1 (5%), оливковое масло (10%), глицерин (5%), дистиллированная вода (до 100%), а так же экстракт розмарина (0,03%) или витамин Е (0,10%). Образцы крема получали диспергационным методом по способу «горячий/горячий». Экстракт розмарина или витамин Е вводили после охлаждения крема до 40<sup>0</sup>С и осуществляли его дополнительное диспергирование.

Полученные образцы подвергали ускоренному старению путем выдерживания в термостате при температуре 40–42<sup>0</sup>С. Оценку влияния ускоренного старения на устойчивость образцов крема к окислению определяли по изменению перекисного числа (характеризует количество первичных продуктов окисления – гидропероксидов и пероксидов) и кислотного числа (отражает присутствие кислот, являющимися одними из вторичных продуктов окисления жиров). Также у образцов определяли рН и коллоидную устойчивость.

Результаты исследования представлены на рисунке 1 и 2.

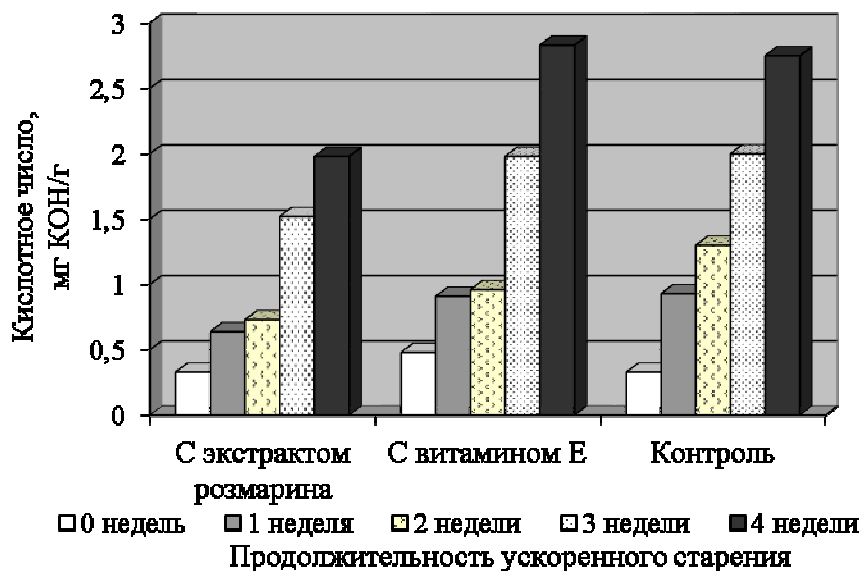


**Рисунок 1 – Зависимость перекисного числа образцов крема от продолжительности старения**

Из рисунков 1 и 2 видно, что увеличение продолжительности термообработки образцов крема приводит к увеличению перекисного и кислотного чисел от 2,25–4,50 до 20,5–23,8 ммоль ½ О/кг и от 0,33–0,48 до 1,98–2,83 мг КОН/г соответственно. Возрастание перекисного и кислотного чисел характерно для всех образцов крема, что свидетельствует о накоплении в образцах продуктов первичного и вторичного окисления.

Наибольшее значение перекисного числа наблюдается у образца крема, который не содержит антиоксиданты. Значение перекисного числа у образцов крема с антиоксидантами (экстрактом розмарина и витамином Е) отличаются незначительно. Наибольшее значение

кислотного числа получено у образца крема с витамином Е, что может быть связано с окислением витамина.



**Рисунок 2 – Зависимость кислотного числа образцов крема от продолжительности старения**

Анализ рН всех образцов крема на протяжении всего периода исследования показал, что показатель изменяется незначительно и находится в интервале 5,5–5,9, что соответствует требованиям предъявляемым к косметическим кремам [3]. Центрифугирование образцов крема (5 мин. при 6000 мин<sup>-1</sup>) перед термообработкой и после нее показало, что все образцы обладают коллоидной стабильностью.

На основании результатов исследования были можно сделать вывод, что экстракт розмарина в количестве 0,03% не влияет на физико-химические показатели крема, содержащего оливковое масло, но при этом выступает в качестве природного антиоксиданта, тем самым препятствуя процессам его окисления и, как следствие, увеличивает срок годности готового продукта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Паронян В.Х. Технология производства парфюмерно-косметических продуктов / В.Х. Паронян, А.Ю. Кривова. – М.: ДеЛи принт, 2009.– 668 с.
2. Дворанинович, М.А. Влияние экстракта розмарина на перекисное число оливкового масла / М.А. Дворанинович // Наука – шаг в будущее: тезисы докладов XI студенческой научно

практической конференции факультета «Технология органических веществ», 5–6 декабря 2017 г., Минск. – Минск: БГТУ, факультет ТОВ, 2017. – С.25.

3. Кремы косметические. Общие технические условия: СТБ 1673-2006. – Введ. 15.11.2006. – Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. Гос. инт-т. стандартизации и сертификации, 2006. – 11 с.

УДК 661.185:544.77

Магистрант Н.Ю. Адамцевич  
Науч. рук. доц. Ж.В. Бондаренко  
(кафедра химической переработки древесины)

### **РАЗРАБОТКА СОСТАВА ШАМПУНЯ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ПЕНООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПАВ**

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – базовые компоненты любого пеномоющего средства, включая шампуни и обычные мыла. Наиболее распространенными в пеномоющих средствах являются анионные ПАВ (АПАВ). Они обладают высокими поверхностно-активными свойствами, хорошей пенообразующей способностью, которая практически не зависит от присутствия солей жесткости. Но АПАВ оказывают раздражающее действие на кожу. Поэтому современные производители, стараясь снизить негативное дерматологическое воздействие данных ПАВ, совместно с ними используют вспомогательные ПАВ (амфотерные и неионогенные) либо вовсе стремятся исключить АПАВ, заменяя их более мягкими. Свойства водных растворов смеси ПАВ определяются их концентрацией в растворе, типом используемых ПАВ и их соотношением.

Цель данной работы заключалась в изучении пенообразования в водных растворах, содержащих АПАВ, неионогенный и амфотерный ПАВ в различных соотношениях.

Наиболее широко распространёнными АПАВ являются лаурил сульфат и лаурет сульфат натрия. Меньшим негативным действием обладает лаурет сульфат натрия, поэтому он выбран в качестве объекта исследования. Из вспомогательных ПАВ рассмотрены диэтаноламиды жирных кислот природного масла (неионогенный, НПАВ) и кокоамидопропилбетаин (амфотерный, АмПАВ). Исследования проводили на приборе Росс-Майлса при температуре 18–20°C. Общая

концентрация смеси ПАВ в растворе дистиллированной воды была постоянна и составляла 0,2 г/л. Концентрацию индивидуальных ПАВ в смеси изменяли от 0 до 100%. Пенообразующую способность растворов смеси ПАВ оценивали по пенному числу и устойчивости пен. Пенное число – высота столба пены, образуемая через 30 с после истечения 200 мл исследуемого раствора с высоты 900 мм на поверхность такого же раствора в приборе Росс-Майлса. Устойчивость пены рассчитывали как отношение высоты столба пены после 5 мин ее существования к пенному числу и выражали в процентах. Соотношение ПАВ в водном растворе и полученные данные по пенообразованию представлены в таблице.

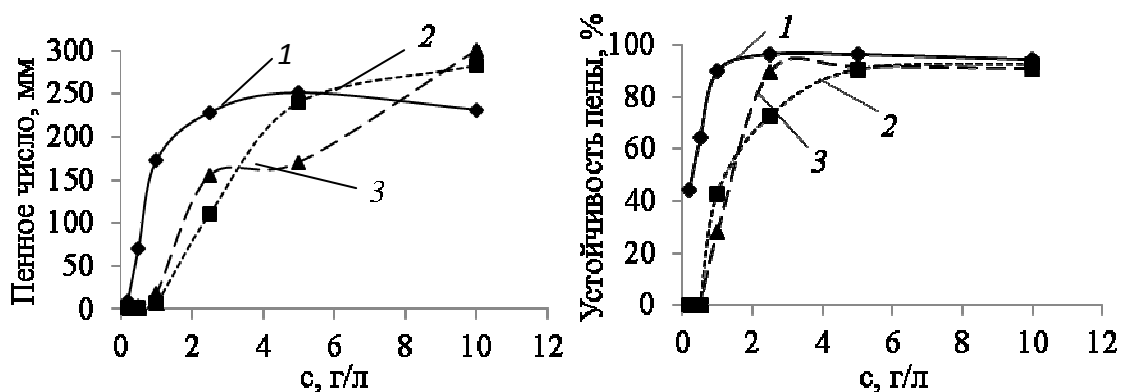
**Таблица – Содержание ПАВ в растворе и пенообразующие свойства**

№ образца	АПАВ, %	АмПАВ, %	НПАВ, %	Пенное число, мм	Устойчивость пены, %
1	100	0	0	154	98,7
2	80	10	10	146	84,9
3	60	20	20	148	97,3
4	60	10	30	115	98,3
5	60	30	10	185	98,1
6	40	10	50	108	97,8
7	40	20	40	105	97,1
8	40	30	30	127	96,9
9	20	40	20	128	98,4
10	40	50	10	169	97,6
11	20	10	70	21	90,5
12	20	20	60	41	97,6
13	20	30	50	70	97,1
14	20	40	40	100	98,0
15	20	50	30	104	98,1
16	20	60	20	148	97,9
17	20	70	10	169	97,6
18	0	20	80	20	90,0
19	0	40	60	21	95,2
20	0	50	50	19	94,7
21	0	60	40	20	99,9
22	0	80	20	28	92,9
23	0	100	0	143	98,6
24	0	0	100	16	93,8

Исследования показали, что все пены являются высокостабильными, их устойчивость составляет 84,9–99,9%, что отвечает требованиям для гигиенических пеномоющих средств (показатель не ниже 80%). Наибольшей пенообразующей способностью

(пенное число 185 мм) обладают растворы, содержащие 60% АПАВ, 30% амфотерного и 10% неионогенного. Наименьшая высота столба пены (16 мм) образуется в растворах, содержащих только НПАВ. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к гигиеническим пеномоющим средствам, пенное число должно составлять не менее 100 или 140 мм в зависимости от вида косметического средства. Этому требованию соответствуют растворы, содержащие 40–60% АПАВ и различное соотношение неионогенного и амфотерного ПАВ, а также растворы, содержащие только анионный и амфотерный ПАВ. Пенное число для растворов, которые не содержат АПАВ, не соответствует предъявляемым требованиям, что свидетельствует о невозможности исключения данного компонента из смеси исследуемых ПАВ для обеспечения требуемых показателей гигиенических пеномоющих средств.

В настоящее время в косметическом производстве используются АПАВ нового поколения, которые являются наиболее мягкими по отношению к коже. Поэтому с целью исключения лаурет сульфата натрия были рассмотрены лаурил саркозинат натрия, миристил глутамат натрия и кокоил глутамат натрия и изучена пенообразующая способность водных растворов указанных ПАВ. В исследованиях использовали дистиллированную воду, чтобы исключить негативное влияние солей жесткости. Концентрацию ПАВ варьировали в интервале 0,2–10,0 г/л. Полученные данные представлены на рисунке.



**АПАВ: 1 – лаурил саркозинат натрия; 2 – миристил глутамат натрия;  
3 – кокоил глутамат натрия**

**Рисунок – Зависимость пенного числа и устойчивости пены от концентрации АПАВ в растворе**

Из представленных данных видно, что лаурил саркозинат натрия, миристил глутамат натрия и кокоил глутамат натрия обладают меньшей пенообразующей способностью в сравнении с лаурет сульфатом натрия. Растворы указанных ПАВ при низких концентрациях (0,10–1,0 г/л)

практически не образуют пены. Наибольшая пенообразующая способность свойственна растворам, содержащим лаурил саркозинат натрия. При содержании данного ПАВ в растворе 2,5 г/л и выше пенное число и устойчивость пены соответствуют требованиям СТБ № 1675-2006. На основе полученных экспериментальных данных и сведений, имеющихся в литературе, разработан состав шампуня, который содержит 60% лаурил саркозината натрия, 30% кокоамидопропилбетаина, 10% диэтаноламидов жирных кислот природного масла и дополнительные ингредиенты (краситель, отдушка, консервант и др.). В лабораторных условиях получен образец косметического средства. Анализ органолептических и физико-химических показателей образца показал его соответствие требованиям СТБ 1675-2006 «Изделия косметические гигиенические моющие. Общие технические требования».

УДК 687.552.3

Магистрант И.О. Бруцкая  
Науч. рук. Ж.В. Бондаренко  
(кафедра химической переработки древесины)

### **ВЛИЯНИЕ ЗАГУСТИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ АНИОННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА**

Действующим началом всех пеномоющих средств являются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Современной тенденцией создания гигиенических моющих средств является введение в их состав веществ, улучшающих внешний вид и потребительские свойства готового продукта. К таким веществам относятся различные вспомогательные вещества, такие как загустители, консерванты, антистатики, отдушки, пережиривающие добавки, «перламутровые агенты», регуляторы pH и т.д.

В качестве загустителей рецептур МС используют водорастворимые синтетические, природные и модифицированные природные полимеры. Важную роль среди полимерных загустителей играют производные целлюлозы, к которым относятся гидроксиметил- и гидроксипропилметилцеллюлоза, натрий карбоксиметилцеллюлоза, гидроксипропилкарбоксиметилцеллюлоза, гидроксипропилкарбоксиметилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза и другие.

Целью работы являлось исследование влияния концентрации гидроксипропилметилцеллюлозы и натрий карбоксиметилцеллюлозы



на пенообразующую способность и вязкость растворов анионного ПАВ.

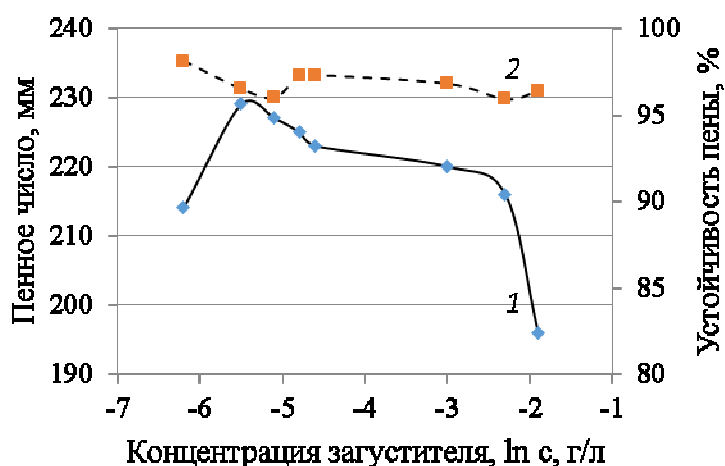
Водный раствор гидроксипропилметилцеллюлозы обладает поверхностно-активными свойствами, что способствует эмульгированию и повышению стабильности получаемых систем.

Натрий карбоксиметилцеллюлоза – анионный водорастворимый полимер без запаха, который обладает следующими свойствами:

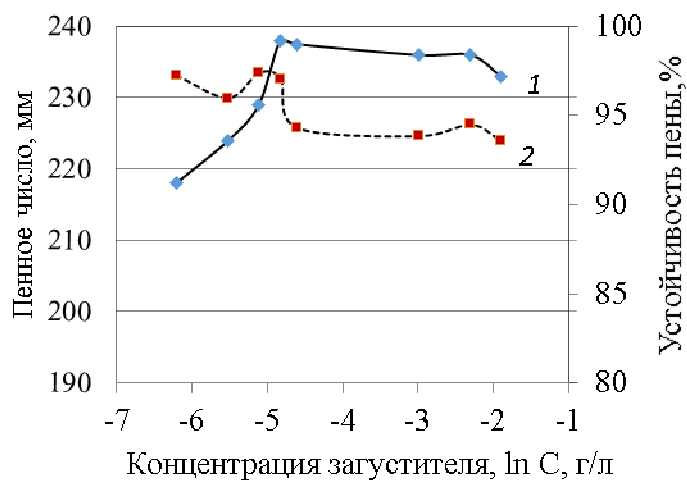
- быстро растворяется в горячей и холодной воде;
- действует как загуститель, агент контроля реологии, связующее вещество, стабилизатор, суспендирующий агент;
- создает пленки, устойчивые к маслам, смазкам и органическим растворителям;
- физиологически инертен.

В качестве ПАВ в исследованиях использовали лаурет сульфат натрия. Предварительные исследования свойств водных растворов лаурет сульфата натрия показали, что для обеспечения высокой пенообразующей способности гигиенических пеномоющих средств и стабильности получаемых пен концентрация ПАВ в растворе должна быть выше критической концентрации мицеллообразования [1]. Поэтому для исследования влияния загустителей была выбрана концентрация ПАВ в растворе 0,7 г/л. Концентрацию загустителей в растворе ПАВ варьировали в интервале 0,002–0,150 г/л.

Оценку пенообразующей способности растворов осуществляли на основании анализа пенного числа и устойчивости полученных пен, которые определяли на приборе Росс-Майлса. Полученные данные приведены на рисунках 1 и 2.



**Рисунок 1 – Зависимость пенного числа (1) и устойчивости пены (2) от концентрации гидроксипропилметилцеллюлозы в растворе**



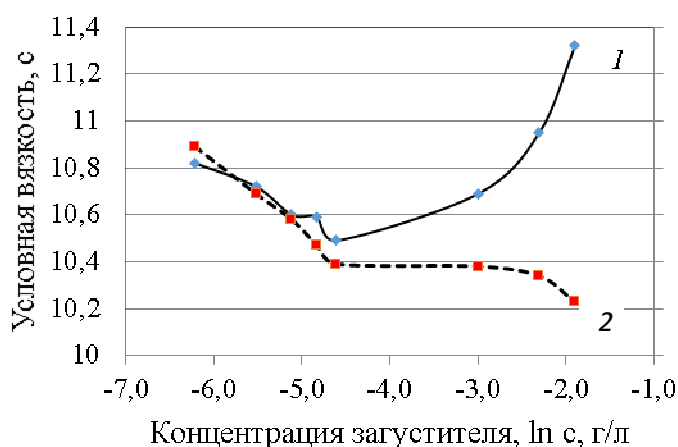
**Рисунок 2 – Зависимость пенного числа (1) и устойчивости пены (2) от концентрации натрий карбоксиметилцеллюлозы в растворе**

Исследования показали, что при концентрации 0,002–0,004 г/л ( $\ln c$  от  $-6,2$  до  $-5,5$ ) гидроксипропилметилцеллюлоза способствует повышению пенного числа от 179 мм (раствор ПАВ) до 214–225 мм, но дальнейшее увеличение содержания компонента в системе приводит к снижению показателя. Для растворов содержащих натрий карбоксиметилцеллюлозу пенное число повышается от 218 мм до 237 мм при увеличении концентрации загустителя от 0,002 до 0,008 г/л ( $\ln c$  от  $-6,2$  до  $-5,2$ ), а дальше имеет тенденцию к незначительному снижению. Уменьшение пенообразования в растворах может быть связано с образованием комплексов «полимер–ПАВ» и их влиянием на процесс образования пены. Более значительно данное влияние в растворах, содержащих гидроксипропилметилцеллюлозу.

Исследуемые загустители оказывают незначительное влияние на устойчивость полученных пен. Для всех изученных растворов данный показатель составил 96,0–98,1%.

Полимеры находят широкое практическое применение для регулирования реологических свойств различных систем. Вязкость растворов зависит от многих факторов: молекулярной массы, концентрации, условий растворения и конформации молекул полимера. Реологические свойства растворов смесей полимеров и ПАВ, как и растворов полимеров, обычно сильно зависят от концентрации полимера. Влияние концентрации загустителей в растворе ПАВ на условную вязкость представлено на рисунке 3.

Условную вязкость определяли как время истечения 100 мл раствора из вискозиметра ВЗ–3.



**Рисунок 3 – Зависимость условной вязкости раствора от концентрации гидроксипропилметилцеллюлозы (1) и натрий карбоксиметилцеллюлозы (2)**

Из рисунка 3 видно, что повышение концентрации натрий карбоксиметилцеллюлозы от 0,002 до 0,150 г/л в системе снижает её вязкость. Это свидетельствует о том, что при данных параметрах производное целлюлозы не выполняет функцию загустителя раствора, а больше выступает как стабилизатор пены.

При введении в раствор ПАВ гидроксипропилметилцеллюлозы в концентрации от 0,002 до 0,010 г/л ( $\ln c$  от  $-6,2$  до  $-4,6$ ), условная вязкость раствора снижается. Дальнейшее увеличение содержания загустителя до 0,15 г/л приводит к повышению показателя. Из рисунка 3 можно видеть, что загущающую функцию компонент выполняет при концентрации в растворе 0,01–0,15 г/л.

Повышение вязкости можно объяснить тем, что вводимые в раствор ПАВ полимеры взаимодействуют с гидрофобными группами молекул поверхностно-активного вещества, что приводит к усилению ассоциации полимерных цепей. Для образования поперечных сшивок и, следовательно, проявления вязкостного эффекта необходимо, чтобы в мицеллообразовании принимало участие большое число гидрофобных групп полимера. При повышенных концентрациях ПАВ лишь одна гидрофобная группа полимера входит в состав смешанной мицеллы, что приводит к исчезновению эффекта «поперечных сшивок» [2].

Различное влияние исследуемых производных целлюлозы на условную вязкость растворов ПАВ может быть связано также с их различным строением и поверхностно-активными свойствами. В

отличие от гидроксипропилметилцеллюлозы, натрий карбоксиметилцеллюлоза не проявляет поверхностной активности, и ее растворы имеют поверхностное натяжение, которое равно поверхностному натяжению воды.

На основании анализа полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что все исследуемые системы, содержащие лаурет сульфат натрия и гидроксипропилметилцеллюлозу и натрий карбоксиметилцеллюлозу в рамках изученных параметров, отвечают по пенообразующим свойствам требованиям, предъявляемым к гигиеническим моющим средствам – пенное число не менее 100 мм и устойчивость пены не ниже 80%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бруцкая, И.О. Определение критической концентрации мицеллообразования в водных растворах препаратов ПАВ на основе лаурет сульфата натрия / И.О. Бруцкая // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2016: сб. материалов конф. [Электронный ресурс] / сост. Н.В. Баталова; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: ИД САФУ, 2016. – С. 1351–1353.

2. Холмберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг [и др.]; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 528 с.

УДК 661.187.03/.099

Студ. М.В. Амосова  
Науч. рук. доц. Ж.В. Бондаренко  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

#### **ВЛИЯНИЕ ВИДА ЖИРА НА СВОЙСТВА СУВЕНИРНОГО МЫЛА**

В настоящее время становится все более популярно производство натурального сувенирного мыла. Для его получения широко используют растительные масла, которые подразделяют на две группы – жидкие и твердые. Жидкие называют базовыми, так как они используются в качестве основы, а твердые масла иначе именуют баттерами. Среди масел, используемых для получения сувенирного мыла есть и такие, которые относятся к полутвердым. Любому маслу присущи определенные свойства, зависящие от состава жирных кислот, витаминов, минералов, питательных веществ, которые влияют на качество получаемого мыла. Изготовление натурального

сувенирного мыла имеет неоспоримое преимущество в том, что есть возможность создать его индивидуальным, с нужными питательными, увлажняющими, ранозаживляющими или иными свойствами. Для этого необходимо подбирать жировое сырье, которое как раз и будет наделять мыло тем или иным свойством.

Сувенирное мыло можно получать даже в домашних условиях. Для этого используют горячий и холодный способы. При горячем способе после смешения жиров и щелочи осуществляют полное омыление жиров при перемешивании и температуре 70–80°C. Полученное мыло заливают в формы, где оно затвердевает. Такое мыло можно использовать сразу после затвердевания. При получении мыла холодным способом, смешивают жировое сырье и раствор щелочи при температуре 50–70°C, проводят первичное омыление при перемешивании, затем разливают в формы и оставляют для созревания (доомыления) в течение более трех недель. Продолжительность созревания мыла, полученного холодным способом, зависит от вида используемого жирового сырья.

Цель работы заключалась в исследовании влияния вида растительного масла на свойства сувенирного мыла, полученного холодным способом.

В ходе исследований были получены три вида мыл с использованием следующих рецептов:

– кокосовое: кокосовое масло 200 г; гидроксид натрия 35,87 г; вода 66 г;

– подсолнечное: подсолнечное масло 200 г; гидроксид натрия 26,46 г; вода 66 г;

– льняное: льняное масло 200 г; гидроксид натрия 26,46 г; вода 66 г.

Предварительно были определены показатели качества растительных масел и их жирно-кислотный состав [1–3]. Данные представлены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1 – Показатели качества растительных масел**

Растительное масло	Кислотное число, мг КОН / 1 г	Число омыления, мг / 1г	Эфирное число, мг КОН/ 1 г
Кокосовое	0,50	253,12	252,39
Подсолнечное	0,40	223,49	223,09
Льняное	8,99	212,27	203,28

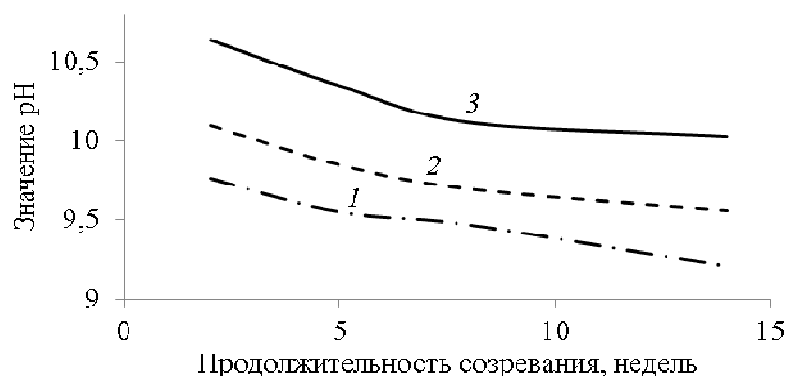
Исходя из представленных данных видно, что кокосовое масло содержит в основном насыщенные жирные кислоты (преимущественно лауриновую), что хорошо для получения мыла с оптимальной твердостью и пенообразованием.

Таблица 2 – Жирно-кислотный состав растительных масел, %

Жирные кислоты	Растительное масло		
	Кокосовое	Подсолнечное	Льняное
Капроновая	3	–	–
Каприловая	0,63	–	–
Каприновая	6,29	–	–
Лауриновая	46,73	–	–
Миристиновая	17,71	0,08	0,05
Пентадекановая	–	–	0,02
Пальмитиновая	8,97	6,62	6,01
Пальмитоолеиновая	–	0,12	0,09
Стеариновая	3,12	3,22	4,88
Элаидиновая	0,09	–	–
Олеиновая	6,15	24,78	13,35
Линолевая	1,65	61,52	16,21
$\alpha$ -линоленовая	–	0,91	54,30
$\gamma$ -линоленовая	–	–	0,22
Арахидиновая	–	0,26	0,17
Арахидоновая	0,09	–	–
Эйкозеновая	0,04	–	–
11,14-эйкозодиеновая	–	–	0,02
Эруковая	–	–	0,03

Подсолнечное и льняное масла больше содержат ненасыщенных жирных кислот, причем с несколькими двойными связями, что свидетельствует об их склонности к прогорканию и негативно влияет на пластичность мыла. Однако эти масла позволяют получить мыло с хорошими смягчающими свойствами.

Мыло, полученное холодным способом, требует длительного созревания. Для оценки влияния вида жира на продолжительность созревания мыла определяли содержание свободной щелочи в мыле и рН 1%-ного мыльного раствора. Полученные данные предоставлены на рисунках 1 и 2.



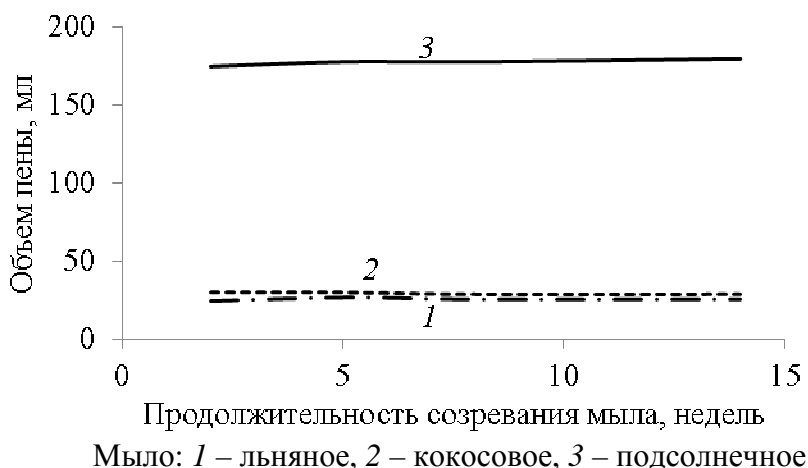
Мыло: 1 – кокосовое, 2 – льняное, 3 – подсолнечное

Рисунок 1 – Изменение pH мыльного раствора в процессе созревания



**Рисунок 2 – Содержание свободной щелочи в мыле в зависимости от продолжительности созревания**

Из представленных данных видно (рисунок 2), что свободное содержание щелочи у льняного и кокосового мыл (линии 1 и 2) уменьшалось в течение 8 недель, а далее практически не изменялось, что свидетельствует о завершении процесса омыления жирового сырья. У подсолнечного мыла (рисунок 2, линия 3) показатель снижался в течение всего срока исследования, следовательно, процесс омыления продолжался. При этом на протяжении исследования происходило и снижение pH исследуемых мыльных растворов (рисунок 1). Одним из важнейших свойств мыл является их моющее действие и пенообразующая способность. Оценку пенообразования осуществляли на основании объема пены, образованного из 50 мл 10%-ного раствора мыл в цилиндре вместимостью 500 мл (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Объем пены в зависимости от вида и продолжительности созревания мыла**

Исследования показали, что пенообразующая способность полученных мыл не зависит от продолжительности их созревания, а зависит от вида используемого жирового сырья. Установлено, что лучшими пенообразующими свойствами обладает подсолнечное мыло (рисунок 3, линия 3). Льняное и кокосовое мыло образуют практически одинаковое количество пены (рисунок 3, линии 1 и 2), но объем пены незначительный по сравнению с пеной, полученной из подсолнечного мыла. Такое различие пенообразующих свойств полученных мыл связано с различием в их жирно-кислотном составе.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что лучшими пенообразующими свойствами, а следовательно и моющим действием, обладает подсолнечное мыло, однако такое мыло, полученное холодным способом, требует более длительного созревания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии доли метиловых эфиров жирных кислот: ГОСТ 31663-2012. – Введ. 01.01.14. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2012. – 8 с.

2. Масла растительные. Методы определения кислотного числа: ГОСТ 31933-2012. – Введ. 01.01.14. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2014. – 8 с.

3. Масла растительные и натуральные жирные кислоты. Методы определения числа омыления: ГОСТ 5478-2014. – Введ. 01.01.16. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т. стандартизации и сертификации, 2014. – 6 с.



УДК 676.017.4 : 678.6

студ. Ю.В. Телеш, выпускник А.А. Казакевич  
 Науч. рук. асс. И.В. Николайчик  
 (кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## ВЛИЯНИЕ ВИДА ПОЛИМЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВЛАГОПРОЧНОСТЬ БУМАГИ

Производство санитарно-гигиенических видов бумаги характеризуется выпуском продукции низкой массы метра квадратного и связанной с этим проблемой формования однородной структуры бумаги и достижения требуемого комплекса свойств. В связи с этим, такая бумага должна обладать высокими сорбционными свойствами, достаточной механической прочностью и влагопрочностью. Одним из способов решения данных проблем является использование в композиции бумажной массы вспомогательных химических веществ, к которым относятся модифицированные карбаминоформальдегидные олигомеры (КФО). Основными преимуществами данных олигомеров по сравнению с другими синтетическими добавками является высокая скорость отверждения, низкая вязкость при высокой концентрации, стабильность при хранении, бесцветность, невысокая стоимость и богатая сырьевая база. Однако КФО характеризуется недостаточной растворимостью в воде, некоторой токсичностью и недостаточно высокой адгезионной прочностью. Устранить указанные недостатки возможно путем модификации данных полимеров [1].

Поэтому целью настоящей работы является изучение влияния модифицированных КФО на электрокинетические свойства бумажной массы и показатели качества, изготовленных из них образцов бумаги санитарно-гигиенического назначения. Синтез КФО, модифицированных  $\epsilon$ -капролактамом, осуществлялся при постоянном мольном соотношении карбамида к формальдегиду 1 : 2. Количественное соотношение карбамида к  $\epsilon$ -капролактаму варьировалось в диапазоне (1 : 0)  $\square$  (1 : 0,5), представленном в таблице 1.

**Таблица 1 – Состав исследуемых образцов модифицированных КФО**

Наименование показателя	Исследуемые образцы модифицированного КФО		
	№1	№2	№3
Мольное соотношение карбамид: формальдегид	1 : 2		
Количественное соотношение карбамид: $\epsilon$ -капролактамом	1:0,5	1:0,16	1:0

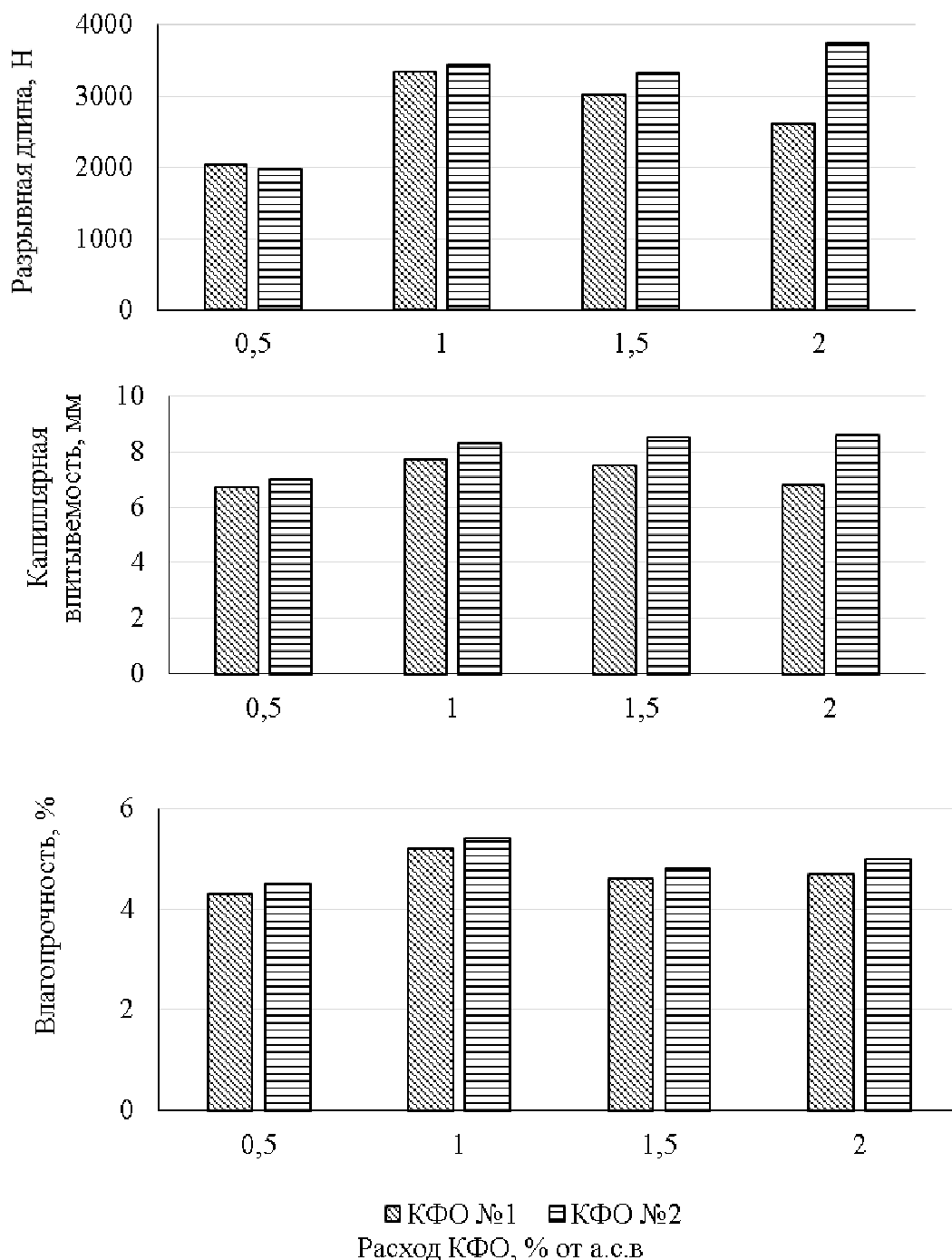
Для изучения влияния исследуемых КФО на электрокинетические свойства и показатели качества были получены образцы бумажных масс из сульфатной целлюлозы хвойных пород древесины и изготовлены из них образцы бумаги санитарно-гигиенического назначения массой 1 метра квадратного 40 г. В качестве вспомогательных химикатов использовались модифицированные карбамидоформальдегидные олигомеры с расходом от 0 до 2,0 % от а.с.в.

Полученные электрокинетические свойства бумажных масс в присутствии исследуемых олигомеров представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Электрокинетические свойства бумажных масс**

Расход КФО, % от а.с.в.	КФО № 1		КФО № 2		КФО № 3	
	$\zeta$ -потенциал, мВ	Катионная потребность, мл/л	$\zeta$ -потенциал, мВ	Катионная потребность, мл/л	$\zeta$ -потенциал мВ	Катионная потребность мл/л
0	-25,1	22,8	-25,1	22,8	-25,1	22,8
0,5	-25,6	23,3	-26,5	23,5	-27,6	24,6
1,0	-25,3	19,7	-25,8	20,1	-26,3	21,3
1,5	-24,3	21,2	-25,2	20,3	-25,9	25,4
2,0	-24,9	30,6	-26	20,3	-26,2	32,5

Как видно из таблицы 2, при добавлении исследуемых образцов КФО в композиции бумажных масс наблюдается уменьшение катионной потребности, вследствие чего констатируют высокую чистоту систем и пользу отбели, что снижает вдвое содержание интерферирующих веществ в массе. Наименьшие значения катионной потребности водно-волокнистой суспензии 19,7 и 20,1 мл/л достигаются при использовании КФО № 1 и КФО № 2 с расходом 1,0 % от а.с.в. соответственно. Кроме этого наблюдается снижение  $\zeta$ -потенциала бумажной массы от -25,1 до -24,3 мВ при увеличении расхода КФО №1 от 0 до 1,5 % от а.с.в. Результаты по влиянию исследуемых КФО на электрокинетические свойства бумажных масс показали, что применение КФО № 3 в их композиции нецелесообразно по причине достижения высоких значений катионной потребности и  $\zeta$ -потенциала, что будет оказывать отрицательное влияние на формирование бумажного полотна на сеточном столе бумагоделательной машины. Поэтому дальнейшие исследования проводились по влиянию модифицированных КФО № 1 и КФО № 2 на показатели качества образцов бумаги санитарно-гигиенического назначения, результаты которых приведены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Влияние состава и расхода КФО на показатели качества образцов бумаги санитарно-гигиенического назначения**

Как видно из рисунка 1, наиболее высокие значения разрывной длины, капиллярной впитываемости и влагопрочности достигаются при использовании в композиции бумаги КФО № 2. Получено, что применение КФО № 2 в количестве 1,0% от а.с.в приводит к

повышению разрывной длины, капиллярной впитываемости и влагопрочности до 3450 м, 8,3 мм и 5,4% соответственно.

Таким образом, применение КФО № 2 в композиции бумаги санитарно-гигиенического назначения позволило повысить их физико-механические свойства в 1,7 раза при увеличении капиллярной впитываемости в 1,3 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жолнерович, Н.В. Влияние состава карбамидоформальдегидных олигомеров на свойства технических видов бумаги / Н.В. Жолнерович, И.В. Николайчик, Н.В. Черная // Труды БГТУ. – 2014. – № 4 (168): Химия, технология орган. в-в и биотехнология. – С. 137–139.

УДК 665.5

Студ. Н.Э. Лавор;

Науч. рук. зав. кафедрой В.Л. Флейшер  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

#### **ПОЛУЧЕНИЕ ДУШИСТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ КАРВОНА**

Натуральные эфирные масла и синтетические душистые вещества широко применяются в парфюмерно-косметической, фармацевтической и пищевой промышленности, медицине, бытовой химии, для получения туалетного мыла, косметических изделий, одеколona, духов, моющих средств и других необходимых человеку продуктов промышленности в качестве пахучих компонентов, ароматизаторов и лекарственных препаратов.

Получение синтетических душистых веществ позволяет: удовлетворить возрастающие потребности в душистых веществах; расширить их ассортимент; сохранить многие виды растений и животных. Потребление синтетических душистых веществ в парфюмерии и косметике в 5–6 раз превышает потребление натуральных продуктов. В Республике Беларусь имеются перспективы развития технологии переработки эфиромасличного сырья, которые обусловлены наличием сырьевой базы (мята, полынь, укроп, кориандр, тмин и др.), предприятий пищевой, медицинской и лесохимической промышленности, обеспечивающих его переработку, потребностью различных отраслей народного хозяйства в получаемой продукции. Карвон в значительных количествах содержится в эфирных маслах тмина и укропа, 50–60 % и 30–50 % соответственно [1]. В свою очередь тмин и укроп произрастают на

территории Республики Беларусь в достаточном для промышленного использования количестве.

Целью исследований являлось изучение возможности получения душистых веществ на основе карвона.

Для получения различных душистых веществ на основе карвона были проведены реакции восстановления с использованием алюмогидрида лития и цинковой пыли в ледяной уксусной кислоте, ацилирования, присоединения этиленгликоля и реакция взаимодействия кетонов с гидроксиламином. В результате проведения реакции взаимодействия карвона с гидроксиламином был получен оксим, представляющий собой твердое вещество белого цвета. Выход продукта составил 76,6 % от исходного вещества.

При восстановлении оксима карвона алюмогидридом лития получен карвонамин (прозрачная жидкость темно-желтого цвета, обладающая аминным запахом). Выход составил 9,6 % от исходного вещества, что на 85 % меньше теоретического. Реакцией восстановления цинковой пылью в ледяной уксусной кислоте получен амин карвона, который представляет собой прозрачную жидкость желтого цвета с характерным запахом амина. Выход продукта составил 27,6 %, на 63,2 % ниже теоретического. В результате восстановления карвона алюмогидридом лития получен карвеол, представляющий собой прозрачную жидкость желтого цвета, запах которой напоминает запах тмина или укропа. Выход продукта составил 56,2 %.

В результате ацилирования карвеола уксусным ангидридом получен карвеолацетат (прозрачная жидкость желтого цвета). Выход продукта составил 64,6 %, на 5,4 % ниже теоретического.

Полученный в результате реакции присоединения этиленгликоля 1,2-этиленгликолькеталькарвон представляет собой прозрачную жидкость темно-желтого цвета с мятным охлаждающим, затем немного сладким запахом. Выход продукта составил 59,7 %.

Результаты исследований приведены в таблице.

**Таблица – Выход душистых веществ, полученных на основе карвона**

Полученное вещество	Выход продукта, %
Оксим карвона	76,6
Амин карвона	9,6
Амин карвона	27,6
Карвеол	56,2
Карвеолацетат	64,6
1,2-этиленгликолькеталькарвон	59,7

Все полученные в результате проведенных синтезов вещества являются душистыми, обладают характерными запахами и могут быть использованы в качестве пахучих компонентов, ароматизаторов в парфюмерно-косметической промышленности, бытовой химии и других отраслях производства, для получения туалетного мыла, косметических изделий, одеколona, духов, моющих средств и других необходимых человеку продуктов.

Получение душистых веществ на основе карвона является перспективным, что обусловлено наличием сырьевой базы и может способствовать удовлетворению возрастающих потребностей в синтетических душистых веществах отечественного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горяев, М. И. Эфирные масла флоры СССР / Горяев М. И. – Алма-Ата: Изд-во Академия наук КССР, 1952. – 380 с.

УДК 665.58(07)

Студ. В.П. Чуешкова  
Науч. рук. доц. С.И. Шпак  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

### **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ МАССЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД**

Термомеханическая масса (ТММ) является наиболее распространённым видом механической массы из щепы, полученной без использования химических реагентов. Объёмы её производства превосходят объёмы производства всех видов механической массы вместе взятых. Именно этот полуфабрикат массово используют в производстве газетной бумаги. ТММ вырабатывается из щепы, пропаренной перед размолom при температуре  $110\text{--}140^{\circ}\text{C}$  и давлении  $100\text{--}300$  кПа в течение от 0,5 до 3 мин. Размол осуществляется в две ступени. Первая ступень проводится при повышенном давлении. На второй ступени давление может быть как атмосферным, так и повышенным [1]. Для всех видов механической массы, изготовляемой без применения химических реагентов, а также химико-термомеханической массы (ХТММ), лучшим сырьем, является свежесрубленная древесина ели. ТММ из еловой древесины в настоящее время занимает ведущее положение в композиции основных видов бумаги для печати: газетной, суперкаландрированной и легкой мелованной бумаги. Беленая ХТММ из древесины ели имеет

высокие показатели механической прочности и оптических свойств и находит широкое применение в композиции бумаги для печати. После ели наиболее предпочтительным сырьем для производства механической массы из щепы является древесина пихты или смесь древесины ели и пихты, а далее - древесина осины [2].

Древесная порода в значительной мере определяет качественные показатели механической массы, но необходимо ориентироваться и на запасы древесного сырья. В настоящее время в Республике Беларусь наблюдается уменьшение запасов еловой древесины, что вызывает необходимость ее замены на древесину сосны. Но использование сосны в технологии ТММ требует решения таких проблем, как повышенное содержание экстрактивных веществ в древесине, более высокая грубость волокна и увеличенное удельное потребление энергии для достижения такой же разработки волокна, как и у ели. Необходимо учитывать и то, что производство ТММ является наиболее энергоёмким из всех существующих сейчас процессов получения древесных волокнистых полуфабрикатов. При этом только 10% энергии расходуется на разделение древесины до волокон и их фрагментов. Остальная ее часть уходит на образование пара. В связи с мировым ростом стоимости электрической и тепловой энергии в случае использования более плотных древесных пород (сосна, береза) по сравнению с елью производителям ТММ необходимо проводить работы по ее сокращению. Однако, в условиях действующих технологий это становится затруднительным из-за резкого ухудшения качества показателей получаемой механической массы из плотных пород древесины. Частично решить эту проблему позволяет разработка австрийской фирмы Andritz, которая создала усовершенствованную энергосберегающую технологию ТММ, названную RTS (retention - продолжительность выдержки; temperature - температура; speed - скорость). Согласно технологии RTS щепа подвергается размолу и рафинированию при температуре выше 166°C в течение короткого периода времени выдержки (1,5-2,0 мин). Благодаря такой обработке стенки волокон размягчаются без нагрева промежуточной пластины древесной клетки. В результате при обработке щепы в дисковых мельницах первой ступени с высокой скорости происходит снижение УРЭ на 15-20% без ухудшения качественных показателей массы. В данной технологии также предусмотрена возможность подачи в дисковую мельницу первой ступени химических добавок, что позволит снизить УРЭ и устранить нежелательное воздействие экстрактивных веществ на ТММ [3].

Таким образом, технология RTS и химические реагенты различного функционального действия позволяют использовать для получения ТММ различные хвойные породы. При этом необходимо учитывать следующие факторы: технологические режимы производства полуфабриката (вид химических реагентов, значение рН среды); содержание экстрактивных веществ (смола и жиры) в исходной древесине, их химический состав; наличие «вредной» смолы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьева, Т. В. Технология древесной массы из щепы / Т.В. Соловьева, В.Э. Шульга. – Минск: БГТУ, 2008. – 136 с.
2. Пузырев, С. С. Древесное сырье – определяющий фактор качества механической массы / С. С. Пузырев // Целлюлозно-бумажное машиностроение. Сер. ХМ-8. – М.: ЦИНТИХимНефтеМаш. – Вып. 2. – 1990. – 50 с.
3. ТММ из южной сосны с использованием предварительной обработки щепы давлением / М. Сабурин [и др.] // Целлюлоза, бумага, картон. - 2008, №8. - С. 76-79.

УДК 665.58(07)

Студ. А.А. Протас  
Науч. рук. проф. Т.В. Соловьева  
(кафедра химической переработки древесины);  
ст. преп. Е.В. Дубоделова  
(кафедра физико-химических методов сертификации продукции, БГТУ)

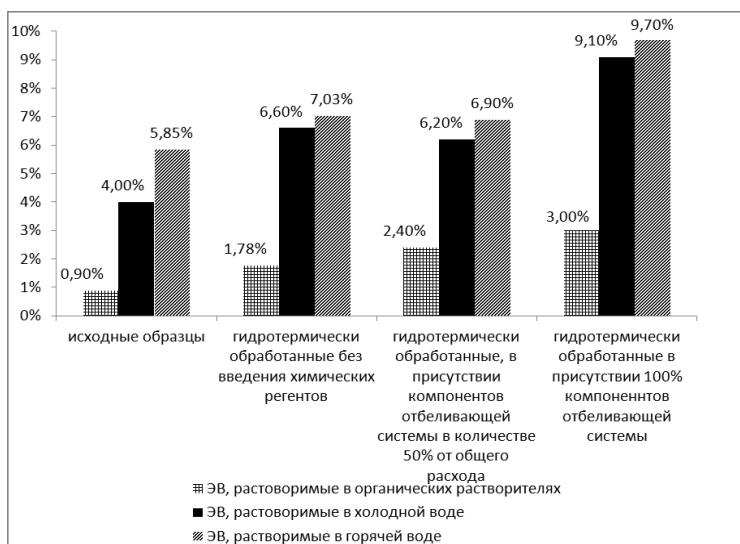
#### **ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ ОТБЕЛКИ ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД**

В настоящее время на деревообрабатывающих предприятиях, характеризующихся широким ассортиментом выпускаемой продукции, возникает проблема утилизации или вторичной переработки образующихся древесных отходов. В то же время, современной технологией производства древесной массы предусмотрено использование древесных отходов наряду с применением балансовой древесины. В рамках научно-исследовательской работы БГТУ совместно с РУП «Завод газетной бумаги» проводятся исследования совместного применения наиболее массово используемых в деревообработке хвойных пород древесины (ели и сосны) в композиции, снижения смолистости ТММ, повышения способности массы к белеванию. Отходами, образующимися в значительном количестве на РУП «Завод газетной бумаги» и способными к последующему использованию в технологии

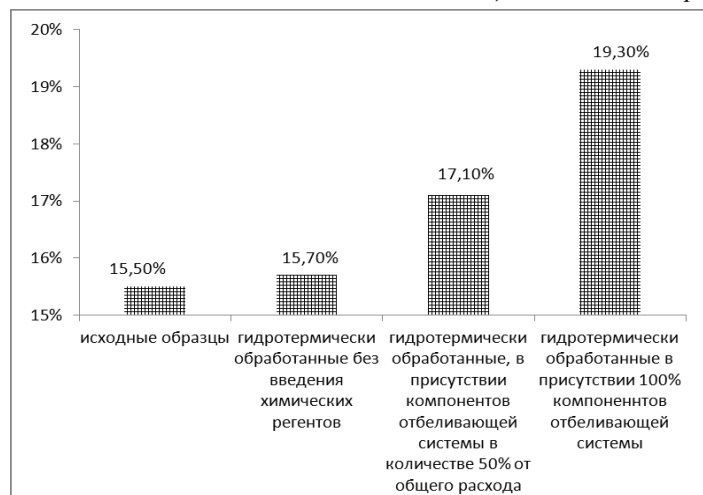


термомеханической массы (ТММ) методом RTS, являются щепы топливная, кусковые отходы от производства пиломатериалов и лесопиления, дрова, лесоматериалы с инородными включениями, незагрязненные древесные отходы. Это связано с таким достоинством данной технологии как возможность сокращения содержания в древесине нежелательных экстрактивных веществ (смолы) при отжиме щепы в импресфайнере после пропарки. Особенностью башенной отбеливки, реализованной на данном предприятии, является применение щелочно-пероксидного способа, заключающегося в переводе хромофорных групп лигнина и ауксохромных группировок в бесцветную форму. Это техническое решение позволяет снизить потери волокна со сточными водами и исключить на 100 % наличие в сточных водах соединений серы [1-2].

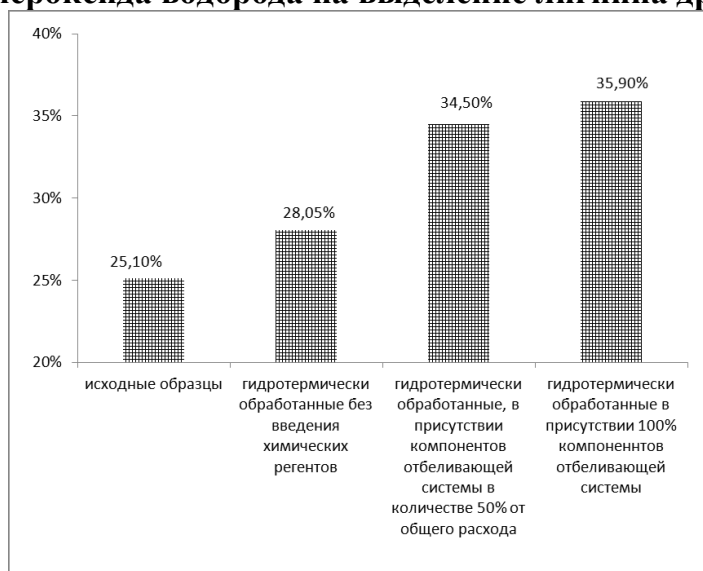
В рамках выполнения научно-исследовательских работ в полученных образцах отбеленной древесной массы в виде ТММ определяли лигнин с помощью 72% серной кислоты и экстрактивные вещества, растворимые в холодной, горячей воде и органических растворителях. После извлечения лигнина, целлюлозы и экстрактивных веществ производили расчет количества гемицеллюлоз. Он был основан в нахождении разности между исходной массой и лигнином, экстрактивными веществами, целлюлозой, определяемую азотно-спиртовым методом. Полученные результаты показаны на рисунках 1-3.



**Рисунок 1 – Влияние способа введения отбеливающей системы на основе пероксида водорода на выделение экстрактивных веществ древесины**



**Рисунок 2 – Влияние способа введения отбеливающей системы на основе пероксида водорода на выделение лигнина древесины**



**Рисунок 3 – Влияние способа введения отбеливающей системы на основе пероксида водорода на выделение гемицеллюлозы древесины**

Установлено, что наименьшее количество экстрактивных веществ, экстрагируемых органическими растворителями, и лигнина извлекается из образцов, которые не были подвергнуты обработке, в том числе гидротермической. Их количество составило 0,9 и 15,5% соответственно в случае анализа исходных образцов; 1,78 и 15,7% – при проведении гидротермической обработки. Проведение гидротермической обработки без химических реагентов способствует расщеплению лигноуглеводного комплекса древесины и количество извлекаемых

гемицеллюлоз возрастает на 12%. Обработка отбеливающей системой позволила повысить степень их извлечения до 43%. Использование отбеливающей системы на стадии гидротермической обработки в полном объеме и в количестве 50% от действующих на РУП «Завод газетной бумаги» норм расхода показало положительные сравнимые результаты с точки зрения извлечения экстрактивных веществ, лигнина.

Белизна бумаги из ТММ возростала на величину до 23% при описанном введении отбеливающей системы на основе пероксида водорода. Нами была отмечена повышенная способность к белению листовенной древесины в сравнении с хвойной, так как белизна возростала под термогидролитическим воздействием в присутствии отбеливающей системы на основе пероксида водорода на величину от 15 до 23%. Это также подтверждается испытаниями бумаги из ТММ по таким оптическим показателям как оптическая плотность поверхности бумаги и ее интегральный коэффициент отражения.

Таким образом, использование отходов хвойной древесины в виде смешанной композиции на основе сосны и ели требует корректировки технологии производства древесной массы. Это может быть достигнуто путем использования отбеливающей системы на стадиях гидротермической обработки, размола, отбелики в башне, что позволяет повысить доступность хромофорных и ауохромных структур лигнина и, следовательно, интенсифицировать процессы деструкции лигноуглеводного комплекса древесины, перевода указанных структур в бесцветную форму.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьева, Т. В. Технология древесной массы из щепы / Т.В. Соловьева, В.Э. Шульга. – Минск: БГТУ, 2008. – 136 с.
2. Пузырев С.С., Современная технология механической массы: в 3 т. / С.С. Пузырев. □ СПб: ООО «ВЕСП», 1995 □ 1998. □ Т. 2: Механическая масса из щепы. □ 1996. □ 236 с.

УДК 66.094.3

Студ. Я.В. Боркина

Науч. рук. м.н.с. А.А. Квеско, зав. кафедрой В.Л. Флейшер  
(кафедра химической переработки, БГТУ)

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ $\alpha$ -ПИНЕНА КИСЛОРОДОМ ВОЗДУХА В ПРИСУТСТВИИ СТЕАРАТА Co (II)**

Разработка эффективного способа переработки скипидара в душистые вещества является актуальной задачей каталитического органического синтеза. Основными компонентами живичного скипидара являются  $\alpha$ -пинен и 3-карен. Особый интерес представляет производство душистых веществ из  $\alpha$ -пинена, в частности, получение кислородсодержащих терпеновых соединений в реакции окисления  $\alpha$ -пинена.

Целью научной работы являлось исследование процесса жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии катализатора стеарата кобальта (II) и определение оптимального сочетания факторов технологического процесса.

Ранее в рамках учебно-исследовательской работы отработывалась методика жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха с использованием стеарата Co (II), с целью выявления оптимального количества катализатора необходимого для дальнейших исследований. Проведено 6 опытов с количеством катализатора 0,1, 0,2 и 0,3 г, из них наибольший выход кислородсодержащих веществ (38,17%) получен при массе катализатора 0,2 г.

Для изучения влияния параметров на процесс жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена было решено применить планы второго порядка, а именно план Бокса для 3 факторов, поскольку он обладает хорошими статистическими характеристиками и является относительно нетрудоёмким.

При построении плана Бокса учитывались следующие параметры процесса: расход воздуха (600–1000 мл/мин), температура (55–85°C) и продолжительность процесса (5–15 ч), а также выбраны и рассчитаны следующие критерии оптимизации: выход полимеров, %; выход целевых кислородсодержащих веществ, %; выход мономеров, %. Полученные результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – План эксперимента и результаты его реализации**

№ опыта	Кодированный вид			Натуральный вид			У		
	x1	x2	x3	x1	x2	x3	У1	У2	У3
1	-1	+1	-1	55	1000	5	30,64	20,33	69,36
2	-1	-1	-1	55	600	5	18,33	13,65	81,67
3	-1	-1	+1	55	600	15	42,19	37,86	57,81
4	-1	+1	+1	55	1000	15	39,82	52,39	60,18
5	+1	+1	-1	85	1000	5	30,15	31,62	69,85
6	+1	-1	-1	85	600	5	28,84	23,97	71,16
7	+1	-1	+1	85	600	15	54,41	40,01	45,59
8	+1	+1	+1	85	1000	15	67,84	27,41	32,16
9	0	0	-1	70	800	5	37,59	20,92	62,41
10	0	-1	0	70	600	10	31,60	29,12	68,40
11	0	0	+1	70	800	15	45,99	39,13	54,01
12	0	+1	0	70	1000	10	40,67	35,33	59,33
13	+1	0	0	85	800	10	49,71	30,52	50,29
14	-1	0	0	55	800	10	49,76	25,10	50,24

Наибольший выход целевых кислородсодержащих веществ (52,39 %) получен в 4 опыте, который проводился при температуре 55°C, расходе воздуха 1000 мл/мин в течение 15 ч.

Выявлены следующие закономерности:

□ вследствие продолжительного воздействия температуры  $\alpha$ -пинен, являющийся летучим соединением, испаряется и уходит из зоны реакции, следовательно, уменьшается масса реакционной смеси, соответственно, уменьшается выход мономеров;

□ с увеличением температуры процесса усиливаются процессы полимеризации, т.е. уменьшается выход мономеров и, соответственно, увеличивается выход полимеров;

□ при увеличении продолжительности процесса окисления (15 ч) и расхода воздуха (1000 мл/мин) концентрация окисленных веществ в реакционной смеси увеличивается, но происходит уменьшение ее массы.

Получены зависимости критериев оптимизации от факторов процесса

$$y_1 = 46,37 + 1,78x_1 + 6,18x_2 + 12,03x_3 + 4,20x_1x_2 - 1,73x_1x_3 + 5,73x_2x_3 + 3,37x_1^2 - 10,23x_2^2 - 4,57x_3^2;$$

$$y_2 = 27,91 + 3,09x_1 - 1,13x_2 + 8,50x_3 - 6,34x_1x_2 - 0,5x_1x_3 - 5,72x_2x_3 - 0,1x_1^2 + 4,31x_2^2 + 2,11x_3^2;$$

$$y_3 = 53,72 + 2,11x_1 - 5,77x_2 - 14,5x_3 - 7,75x_1x_2 + 4,42x_1x_3 - 3,83x_2x_3 - 3,46x_1^2 + 10,15x_2^2 + 4,49x_3^2.$$

Из уравнений видно, что наибольшее влияние на критерии оптимизации оказывает продолжительность процесса, а наименьшее – расход воздуха, без учета парных взаимодействий соответственно.

Рассчитаны значения частных функций полезности для каждого критерия оптимизации. В соответствии с рассчитанными значениями частных функции полезности определен глобальный критерий оптимизации как среднее геометрическое значение частных функций. Построены графики частных функций полезности.

Последним этапом в решении задачи оптимизации является расчет коэффициентов уравнения регрессии для глобального критерия оптимизации и определение оптимальных параметров процесса.

Далее принимая за текущие значения факторов процесса средние, рассчитано текущее значение глобального критерия оптимизации (0,66). С помощью встроенной функции пакета Microsoft Excel «Поиск решения» определяется такое сочетание параметров, при котором значение глобального критерия оптимизации максимально (0,79). Все соответствующие расчеты произведены в пакете Microsoft Excel.

Таким образом, оптимальными параметрами проведения процесса жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии стеарата Со (II) являются:

- температура проведения процесса – 69–70°C;
- объемный расход воздуха – 1000 мл/мин;
- продолжительность процесса – 6–7 ч.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Максимчук, Н.В. Разработка экологически чистых способов получения душистых веществ на основе  $\alpha$ -пинена: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.15 / Н.В. Максимчук. – Новосибирск, 2006. – 122 л.

2. Каталитический синтез душистых веществ из растительных монотерпенов / И.И. Ильина, Н.В. Максимчук, В.А. Семиколенов // Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. – 2004. – №3. – С. 38-53.

3. Флейшер, В. Л. Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов в отрасли / В. Л. Флейшер. – Минск: БГТУ, 2015. – 162 с.

УДК 542.951.1:676.038.2

Выпускник Я.А. Афанасенко  
Науч. рук. зав. кафедрой В.Л. Флейшер  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ДОБАВОК В КАЧЕСТВЕ ЗАМЕНЫ СМОЛЫ MELAPRET В ТЕХНОЛОГИИ ФИЛЬТРОВАЛЬНОГО КАРТОНА**

Фильтровальная бумага (картон) – это бумага с размером пор, обеспечивающим заданную пропускную и разделительную способность при фильтровании жидкостей и газов. Фильтровальные виды бумаги и картона получают традиционным мокрым способом формования из целлюлозных волокон или сочетанием целлюлозных и синтетических волокон, а также сухим способом [1 □ 2]. Современный ассортимент фильтровальных материалов в зависимости от вида фильтруемой среды разделяют на пять основных групп:

- для очистки воздуха;
- для очистки медико-биологических и пищевых жидкостей;
- для очистки агрессивной жидкости;
- для очистки топлива, жидкостей для гидравлических систем и жидких смазочных материалов;
- для очистки технологических растворов полимеров.

Целью данной работы являлась разработка фильтровального картона для очистки пищевой жидкости марки КФС-П с заменой импортной смолы Melapret на отечественный аналог с целью снижения себестоимости производства фильтровального картона при сохранении его качественных показателей. В качестве исходного сырья использовали сульфатную хвойную и сульфатную лиственную целлюлозы, диатомит, асбест и отечественные смолы, такие как:

- полиамидная смола (торговая марка ПроХим DUO);
- смола КФС, модифицированная Е-капролоктамом;
- клей водно-дисперсионный.

ПроХим DUO – это полиамидная смола с бифункциональными

свойствами (упрочнение и гидрофобизация). Смола КФС, модифицированная Е-капролоктамом – это олигомер, обладающий связующим действием в композиции бумаги и картона и повышающий его прочностные свойства. Клей водно-дисперсионный – это продукт полимеризации поливинилацетата в присутствии модифицированных добавок. По известной методике были получены образцы фильтровального картона массой  $800 \text{ г/м}^2$ . Далее полученные образцы фильтровального картона подвергались испытаниям по ГОСТ 12290-89 «Картон фильтровальный для пищевых жидкостей. Технические условия» в условиях центральной заводской лаборатории ОАО «Светлогорский ЦКК». Результаты исследований приведены в таблице. В качестве контрольного образца использовали фильтровальный картон, полученный по аналогичной методике с использованием импортной смолы Melapret.

**Таблица– Результаты испытаний фильтровального картона КФС-П**

Наименование показателя по ГОСТ 12290-89	Контрольный образец	ПроХим DUO	Клей воднодисперсионный	Смола КФС
Масса, $\text{г/м}^2$ , не менее 900	883	854	878	876
Толщина, мм, 1,8–2,4	2,41	2,21	2,42	2,75
Абсолютное сопротивление продавливанию, кПа, не менее 30	104	95	140	99
Скорость прохождения воды, $\text{дм}^3/\text{мин}\times\text{м}^2$ , не менее 85	376	302	483	897,5
Коэффициент проницаемости латексных частиц размер $(0,15\pm 0,02)$ , не более 0	60	0	18	92,7

Как видно из таблицы 1, наиболее эффективными добавками является ПроХим DUO, поскольку она более полно обеспечивает требуемые показатели ГОСТа 12290-89. Так, по сравнению с контрольным образцом, значительно снижен коэффициент проницаемости латексных частиц (в 60 раз). Остальные показатели находятся на уровне контрольного образца.



Таким образом, наиболее целесообразным и эффективным при производстве фильтровального картона, является замена импортной смолы Melapret на отечественную ПроХим DUO, позволяющей улучшить качество изготавливаемого картона для фильтрования пищевых жидкостей и снизить его себестоимость.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, С.Н. Технология бумаги / С.Н. Иванов. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 700 с.
2. Пузырев С.А. Бумага и картон, как фильтрующие материалы. □ М.: Лесная пром-сть, 1970. - 88 с.

УДК 674.8:630.86.035.41

Студ. В.А. Дударь  
Научн. рук. асс. И.В. Николайчик  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

### **ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ НА СПОСОБЫ ИХ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Основным сырьем для производства бумаги и картона является первичный волокнистый полуфабрикат – целлюлоза. Виды и свойства получаемой целлюлозы зависят от анатомического строения древесины перерабатываемых хвойных и лиственных пород и способов их химической переработки [1].

Целью данной работы является изучение влияния химического состава хвойных и лиственных пород древесины на способы их химической переработки в технологии целлюлозы.

В настоящее время процессы делигнификации проводят по сульфитному, бисульфитному, моносульфитному, натронному, сульфатному и другим способам. Достоинством древесины является то, что она относится к возобновляемым источникам сырья [1]. Хвойные породы древесины (ель, сосна, пихта и др.) отличаются от лиственных (береза, дуб, осина, тополь и др.) строением древесного ствола и микроструктурой волокон. Лиственная древесина отличается от хвойной более сложным строением, меньшей длиной основных волокнистых элементов, большим объемом, занимаемым сердцевидными лучами и клетками древесной паренхимы. С точки зрения качества волокна все это делает лиственную древесину менее ценной для производства целлюлозы. Вследствие большого

содержания трудногидролизуемых гемицеллюлоз она относительно менее пригодна и для получения целлюлозы с целью ее химической переработки.

Для сульфитцеллюлозного производства и для выработки белой древесной массы основным видом сырья является еловая древесина и частично пихта. Для химического состава этих пород характерно отсутствие фенолов и относительно малое содержание смолы, а в древесине пихты отсутствуют смоляные ходы, и смола в ней содержится только в паренхимных клетках сердцевидных лучей.

Сосна, лиственница, кедр и дугласова пихта, содержащие в ядровой части ствола фенолы и большое количество смол, а также водозэкстрактивные вещества (лиственница), плохо поддаются сульфитной варке, но могут достаточно успешно провариваться бисульфитным способом и, в особенности, ступенчатым – бисульфитно-сульфитным и моносльфитно-сульфитным. Древесину этих пород, особенно сосны, перерабатывают сульфатным способом, для которого не имеют значения свойства растительного сырья.

В связи с частичным истощением ресурсов хвойной древесины, в особенности ели, доля лиственной древесины в общемировом балансе целлюлозно-бумажной промышленности ежегодно возрастает. Лиственная древесина широко используется в производстве полуцеллюлозы, сульфитной, бисульфитной и сульфатной целлюлозы, а также для получения химической древесной массы. Из лиственных пород наибольшее промышленное значение могут иметь береза и осина, для южных регионов – тополь, ольха, эвкалипт, тюльпановое дерево и др.

Кроме своеобразия химического состава и анатомического строения при переработке лиственной древесины и получаемых из нее различных технических целлюлоз необходимо учитывать следующие ее особенности (по сравнению с хвойной): трудности окорки и повышенный расход энергии на рубку, повышенную склонность к загниванию, более высокий выход целлюлозы из древесины, распад волокон при более глубокой степени провара, пониженную прочность бумажного листа (особенно в мокром состоянии), более трудную обезвоживаемость целлюлозы, что приводит к снижению производительности прорывного и обезвоживающего оборудования на 25–30% [2].

Таким образом, установлено, что применение определенного метода делигнификации в технологии целлюлозы зависит от содержания основных компонентов в хвойных и лиственных породах древесины. Кроме этого, выяснено, что лиственная древесины является менее ценной для производства целлюлозы, однако, в связи с частичным истощением

хвойной древесины, а также сложившихся в большинстве стран мира более низких цен на листовенную древесину, доля последней в общемировом балансе бумажной промышленности возрастает.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Черная, Н.В. Технология производства бумаги и картона: учеб. Пособие для студентов учреждений высшего образования по спец. «Химическая технология переработки древесины» / Н.В. Черная, В.Л. Колесников, Н.В. Жолнерович. – Минск: БГТУ, 2013. – 435 с.

2. Черная, Н.В. Технология производства сульфитной целлюлозы: учеб. Пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Химическая технология переработки древесины» / Н.В. Черная. – Минск: БГТУ, 2012. – 351 с.

УДК 634.0.816: 631.895

Студ. В.С. Евменов, И.Л. Бочков  
Науч. рук. доц. И.А. Хмызов  
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ),  
аспирант А.А. Макеенко  
(Институт природопользования НАН Беларуси)

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФА, ПОЛУЧАЕМОГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГИДРОГУМАТА ТОРФА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЛЛЕТ**

Торф – это горючее полезное ископаемое растительного происхождения, имеющее большую область использования и переработки. В настоящее время, торф в Беларуси используется в качестве брикетов как коммунально-бытовое топливо. Из торфа также производят различную продукцию сельскохозяйственного назначения для приготовления компостов, торфоаммиачных, торфоминеральных удобрений; в овощеводстве и цветоводстве – в качестве парникового грунта, микропарников, формованных субстратов, брикетов и торфяных горшочков для выращивания рассады. Торф малой степени разложения, преимущественно моховой группы (сфагнум), обладает высокой газо- и водопоглощательной способностью, антисептическими свойствами, используется в качестве подстилки для животных и птиц, для обработки сточных вод и как адсорбент при загрязнении вод нефтью. Малая теплопроводность и высокая звукопоглощательная способность обеспечивают торфу этой группы широкое применение в строительстве.

Из торфа получают кокс для металлургических заводов, активированный уголь. Торф используется для получения ряда химических продуктов (этилового спирта, щавелевой кислоты, фурфурола и др.), кормовых дрожжей, физиологически активных веществ, торфяного воска; в медицине – при торфогрязелечении, а также для получения лечебных препаратов. Поэтому на торфоперерабатывающих предприятиях в процессе гидролиза торфа и извлечения из него гуминовых веществ образуется негидролизуемый остаток, который в настоящее время не используется и является отходом производства [1].

В данной работе поставлена цель по выявлению возможностей применения в древесных композиционных материалах. Были поставлены следующие задачи: оценить возможность применения продуктов переработки торфа в производстве древесных композитов; исследовать влияние продуктов переработки торфа на физико-механические свойства древесных композиционных материалов.

Торф состоит из не полностью разложившихся остатков растений, продуктов их распада (гумуса) и минеральных частиц. Растительные остатки и гумус содержат органические и минеральные части, последняя определяет зольность торфа. В составе торфа присутствуют остатки древесины, коры и корней деревьев и кустарников, различные части травянистых растений, а также гипновых и сфагновых мхов.

Высокое содержание гуминовых веществ обусловило развитие переработки торфа с получением гуминовых препаратов, которые получили широкое применение в растениеводстве как стимуляторы роста или микроудобрения. Основным методом, которым выделяют гуминовые вещества – щелочная экстракция растворами аммиака или гидроксидами калия или натрия. Такая обработка переводит их в водорастворимые соли – гуматы калия или натрия, обладающие высокой биологической активностью. В данной технологии после экстракции образуется твердый остаток (фугат), который в настоящее время является отходом производства и никак не используется. Гидролиз торфа перекисно-аммиачным способом приводит к повышенному содержанию в нем, а, следовательно, и в остатке от гидролиза торфа водорастворимых и легкогидролизуемых соединений, обладающих высокой биологической активностью. Кроме того, в составе гуминовых и фульвокислот фугата увеличивается доля водорастворимой фракции.

В данной работе в качестве добавок к композиционным древесным материалам были исследованы образцы торфа и твердые

остатки производства гуминовых препаратов, предоставленные Институтом природопользования НАН Беларуси.

Для 6 образцов торфа и 4 образцов отходов гуминового производства нами были определены такие показатели, как влажность, зольность, рН водной вытяжки, время отверждения композиции КФС + 15% образца + отвердитель. Наиболее приемлемые значения были получены у образца древесно-ольхового низинного торфа со степенью разложения – 40%: влажность – 55%; зольность – 14,2%; рН водной вытяжки – 5,9; а также у образца отходов производства гидрогумата торфа (в водно-аммиачной среде) из сфагнового торфа: влажность – 75%; зольность – 2,3%; рН водной вытяжки – 9,9. Были изготовлены в лабораторных условиях древесные топливные гранулы (пеллеты) с добавлением остатка производства гуминовых веществ в количествах 0,3; 0,6; 1,0% к абсолютно сухой древесине. После проведения испытаний были получены следующие значения физико-механических показателей пеллет, представленные в таблице 1. Исходя из полученных результатов, можно утверждать, что использование в пеллетах в качестве добавки отходов производства гуминовых веществ положительно сказывается как на плотности, так и на прочностных свойствах. Таким образом, при внесении 0,3% добавки в композицию пеллет их прочность при изгибе увеличивается на 30% по сравнению с контрольными значениями.

**Таблица 1 – Физико-механические показатели пеллет**

Образец	Толщина, см	Масса, г	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Разрушающее усилие, Н	Предел прочности при изгибе, МПа
Без добавки	1,065	20,26	1,057	57,3	5,05
0,3% добавки	1,062	20,26	1,060	73,8	6,54
0,6% добавки	1,060	20,23	1,060	79,5	7,06
1% добавки	1,058	20,23	1,062	91,0	8,15

Также с помощью лабораторного вибросепаратора были проведены испытания на стойкость к истиранию (виброустойчивость), которая характеризуется содержанием фракции пыли (0,25/0).

В таблице 2 представлено распределение по фракциям в процентном соотношении. Из таблицы 2 видно, что благодаря добавлению отходов производства гуминовых веществ в композицию пеллет заметно снижается доля мелких фракций, т. е. пеллеты становятся более виброустойчивыми. Так, судя по фракции пыли (0,25/0) при введении этой добавки в композицию пеллет в количестве 0,3% стойкость к истиранию увеличивается на 29%, а при введении 1% – уже на 36%.

**Таблица 2 – Распределение по фракциям в процентном соотношении**

Образец	Номер фракции							
	-/7	7/5	5/3	3/2	2/1	1,0/0,5	0,5/0,25	0,25/0
Без добавки	95,64	0	0,04	0,09	0,90	1,36	1,08	0,70
0,3% добавки, %	97,00	0	0,02	0,06	0,54	1,08	0,81	0,50
0,6% добавки, %	97,27	0	0,02	0,06	0,48	0,92	0,78	0,49
1% добавки, %	97,73	0	0,02	0,06	0,36	0,71	0,69	0,45

Таким образом, можно сделать вывод, что перспективным направлением является использование отходов производства гуминовых препаратов в качестве добавки в топливные гранулы, что обусловлено увеличением их прочности на изгиб и стойкости к истиранию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лиштван, И. И. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев. – Минск: Наука и техника, 1983. - 230 с.

УДК 634.0.816: 631.895

Студ. В.Ч. Пуровская, В.А. Савайтан  
 Науч. рук. доц. И.А. Хмызов  
 (кафедра химической переработки древесины, БГТУ),  
 аспирант А.А. Макеенко  
 (Институт природопользования НАН Беларуси)

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФА В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ**

Торф – это горючее полезное ископаемое растительного происхождения, имеющее большую область использования и переработки.

Торф используется в качестве: брикетов как коммунально-бытовое топливо; основы для производства различной продукции сельскохозяйственного назначения (компостов, торфоаммиачных, торфоминеральных удобрений; в производстве химических продуктов (этилового спирта, фурфурола и др.), лечебных препаратов; строительного материала; подстилки для животных и птиц; для обработки сточных вод и как адсорбент.

Торф обладает высокой газо- и водопоглотительной способностью, антисептическими свойствами, малой теплопроводностью и высокой звукопоглотительной способностью.

При переработке торфа образуются побочные продукты, одним из них является гидрогумат торфа. Его производят в водно-аммиачной среде из сфагнового торфа (группа торфов различных типов (верхового, переходного и низинного), содержащих среди растительных остатков не менее 70% сфагновых мхов, до 10% древесных растений, до 20% травянистых растений или гипновых мхов), в состав гидрогумат торфа входит более 30 элементов минеральных и органических веществ, включая основные микроэлементы.

Гидрогумат торфа используется в качестве стимулятора роста, для снижения опадания, повышения устойчивости растений к стрессовым факторам, особенно в начале вегетационного периода.

В данной работе гидрогумат торфа использовали как добавку в производстве ДСтП. Данная добавка была предоставлена Институтом природопользования НАН Беларуси.

Основная цель исследования – это выявление возможностей применения в производстве древесностружечных плит (ДСтП) побочных продуктов торфа, а именно гидрогумата торфа.

Были поставлены следующие задачи исследования:

- исследовать влияние вводимых побочных продуктов переработки торфа на физико-механические свойства ДСтП;
- проанализировать полученные данные и сделать вывод о возможности применения гидрогумата торфа при производстве ДСтП.

Были изготовлены в лабораторных условиях древесностружечные плиты с различным составом клеевой композиции (КФС с добавлением побочного продукта производства гидрогумата торфа (ППГТ)).

После проведения испытаний были получены следующие значения физико-механических показателей ДСтП, представленные в таблице.

Из таблицы видно, благодаря добавлению гидрогумата торфа при составлении клеевой композиции (ППГТ 20%, КФС 80%) по сравнению с контрольным образцом наблюдается увеличение плотности с  $653 \text{ кг/м}^3$  до  $677 \text{ кг/м}^3$ ; водопоглощение с 112% до 117%; предел прочности при изгибе практически не изменился и составляет 11,3 МПа; разбухание немного уменьшилось по сравнению с контрольным образцом: было 33,2%, стало 30,8%.

**Таблица 1 – Физико-механические показатели ДСтП с побочным продуктом производства гидрогумата торфа (ППГТ)**

Состав клеевой композиции	Разбухание,	Предел прочности при	Водопоглощение, %	Плотность, $\text{кг/м}^3$
---------------------------	-------------	----------------------	-------------------	----------------------------

	%	изгибе, МПа		
Контрольный образец КФС 100%	33,2	11,6	112	653
ППГТ 10% КФС 90%	32,0	12,6	106	621
ППГТ 20% КФС 80%	30,8	11,3	117	677
ППГТ 30% КФС 70%	28,6	8,4	126	679
Торф 10% КФС 90%	31,2	7,9	117	624
Торф 20% КФС 80%	34,2	8,2	141	625
Торф 30% КФС 70%	42,6	8,9	100	678

Таким образом, в целом перспективным является направление использования в качестве добавки побочных продуктов переработки торфа (гидрогумата торфа) в производстве ДСтП, что обусловлено увеличением физико-механических показателей получаемых плит (плотности, водопоглощение).

УДК 634.0.816: 631.895

Студ. Е.П. Коваленко, П.А. Рытикова  
 Науч. рук. доц. И.А. Хмызов  
 (кафедра химической переработки древесины, БГТУ),  
 аспирант А.А. Макеенко  
 (Институт природопользования НАН Беларуси)

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ТОРФА В АММИАЧНОЙ СРЕДЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЛЛЕТ**

Торф - это горючее полезное ископаемое растительного происхождения, имеющее большую область использования и переработки. В настоящее время, торф в Беларуси используется в качестве брикетов как коммунально-бытовое топливо. Из торфа также производят различную продукцию сельскохозяйственного назначения для приготовления компостов, торфоаммиачных, торф минеральных удобрений; в овощеводстве и цветоводстве - в качестве парникового грунта, микро парников, формованных субстратов, брикетов и



торфяных горшочков для выращивания рассады. Одним из удобрений, производимых из торфа является оксидат торфа [1].

В данной работе поставлена цель по выявлению возможностей применения побочного продукта окислительной деструкции торфа в аммиачной среде при производстве оксидата торфа.

Были поставлены следующие задачи: оценить возможность применения добавки в производстве пеллет; исследовать влияние продуктов переработки торфа на истираемость пеллет.

«Оксидат торфа» - разновидность гуминовых препаратов, который представляет собой водорастворимый продукт с содержанием азота до 20%.

Используется в виде 0,75-1,0% водного раствора для предпосевной обработки семян зерновых культур и в виде 0,01% водного раствора для опрыскивания вегетирующих растений. Побочный продукт производства оксидата торфа используется в качестве добавки при изготовлении пеллет для повышения их прочности.

Пеллеты (топливные гранулы) – экологически чистое биотопливо, получаемое из торфа, древесных отходов и отходов сельского хозяйства. Основные качественные характеристики пеллет, которые должны подтверждаться лабораторным анализом являются: плотность, влажность и теплота сгорания, прочность (истираемость), зольность. [2]

Истираемость - один из важнейших показателей качества гранул. Для того чтобы при перевозке пеллеты не разрушались и с наибольшей энергоэффективностью сгорали в пеллетных котлах, они должны обладать определенной прочностью. Исследования проводились следующим образом.

Каждую партию пеллет на прочность проводилось с помощью вибрационно-гирационной сортировки в течении 15 минут с максимально возможной амплитудой колебаний в горизонтальном и вертикальном направлениях 3 мм. Результаты испытания характеризуются процентным содержанием каждой фракции менее 5 мм после разрушения (проведения испытаний). [3]

Для оценки результатов, приведенных в (таблице 1), по данным измерений построили гистограмму распределения по фракциям.

**Таблица 1 – Распределение по фракциям в процентном соотношении**

Композиция	5/2	2/0,5	0,5/0
Контроль	0,13	2,26	1,78
0,3% добавки, %	0,08	1,62	1,31
0,6% добавки, %	0,08	1,40	1,27
1% добавки, %	0,08	1,07	1,14

Из таблицы 1 видно, что добавление отходов производства оксидата торфа в композицию пеллет заметно снижает долю мелких фракций, т.е. пеллеты становятся более виброустойчивыми. Так, судя по фракции пыли (0,25/0) при введении этой добавки в композицию пеллет в количестве 0,3% стойкость к истиранию увеличивается на 29%, а при введении 1% - уже на 36%. Перспективным направлением повышения качества возобновляемых источников энергии является использование побочного продукта производства оксидата торфа в качестве добавки в топливные гранулы (пеллеты), что обеспечивает увеличение их прочности к истиранию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лиштван, И.И. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев. - Минск: Наука и техника, 1983.-230 с.
2. Гранулы древесные топливные. Общие технические условия: СТБ 202-2010. Введ. 01.0.2010 – Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, Минск, 2010. – 20 с.
3. Белодед, Т.А. Разработка технологии модификации древесного сырья в производстве твердого биотоплива / Н.А. Сычыва, И.А. Хмызов, А.В. Молчан, Т.А. Белодед, Т.В. Соловьева // Труды БГТУ. – 2015. –№4: Химия, технология органических в-в и биотехнология. – С. 175–178.

УДК 676

Студ. Н.А. Шелков

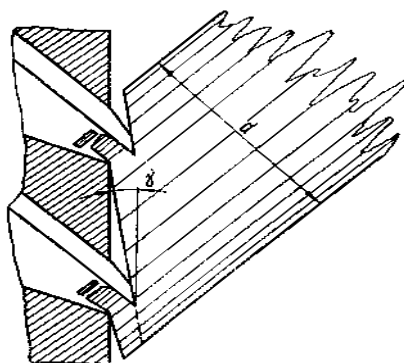
Науч. рук. проф. Н.В. Черная

(кафедра химической переработки древесины БГТУ)

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЩЕПЫ НА СПОСОБЫ ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ**

Возможности и эффективность химической переработки щепы, полученной из хвойных и лиственных пород древесины, во многом зависит от качества щепы. Получение щепы может осуществляться на малоножевых и многоножевых рубительных машинах.

Малоножевые рубительные машины позволяют получать щепу следующим образом. Бревно при отрубке упирается плоскостью отруба в диск и остается неподвижным; лишь по окончании каждого отруба оно под влиянием собственного веса продвигается по патрону к диску на толщину отрубаемой шайбы и перед началом следующего отруба снова упирается торцом в диск. Продвижение бревна совершается прерывно (толчками), при этом бревно после каждого продвижения попадает под выступающее над поверхностью диска лезвие ножа. Нож отрезает от бревна эллиптической формы шайбу, толщина которой зависит от выступа ножа над диском. Шайба уже при отделении от бревна надламывается и раскалывается на отдельные щепочки, которые проскакивают в прорезь диска на обратную его сторону. Здесь щепочки подхватываются лопатками и выкидываются в рукав.



**Рисунок 1 – Механизм непрерывной рубки баланса в щепу  
на многоножевой рубительной машине**

Многоножевые рубительные машины принципиально отличаются от малоножевых по скорости отрезания шайбы и, следовательно, производительностью. Сущность получения щепы заключается в том, что бревно при рубке находится одновременно под

действием двух соседних ножей (рисунок 1). В результате процесс рубки бревна протекает непрерывно и устраняется подсакивание его в патроне.

Химическая переработка щепы из хвойных и лиственных пород древесины или их смесевых композиций позволяет получить разнообразные виды первичных волокнистых полуфабрикатов. К числу которых относится целлюлоза – сульфитная, бисульфитная, моносльфитная, натронная, сульфатную и т. д.

К основным технологическим факторам, влияющим на размеры щепы, относятся порода и влажность древесины, а также такие конструктивные особенности рубительных машин, как выпуск ножей и угол их заточки, угол встречи, скорость резания и подачи бревна. В целом щепы может иметь размеры, представленные в таблице 1.

**Таблица 1 – Размеры щепы в зависимости от породы древесины**

Порода древесины	Толщина щепы, мм, при длине, мм			
	12	16	20	25
	2,3–2,5 (вид 1)	3,1–3,3	3,9–4,2	4,8–5,2 (вид 3)
Сосна	3,5–4,2	4,7–5,6	5,9–6,4	7,1–8,5
Пихта	3,1–3,9	4,1–5,2	5,2–6,5	6,3–7,9
Лиственница	3,4	4,5	5,7	6,9
Береза	3,2–3,9 (вид 2)	4,8	6,0	7,5 (вид 4)
Осина	3,2–3,6	4,3	5,4	6,2

Цель работы – изучение способов химической переработки щепы в зависимости от ее размеров и породы древесного сырья.

В лабораторных условиях исследованы направления химической переработки щепы минимального (виды 1 и 2) и максимального (виды 3 и 4) размеров (таблица 1). Объектом исследования выбрана целлюлоза небеленая, полученная по сульфитным (способы 1 и 2) и щелочным (способы 3 и 4) режимам варки. Исследования со щепой проводили следующим образом. Щепу обрабатывали в автоклаве (объемом 5 л) при давлении 0,6 МПа:

– при температуре 140°C растворами сульфитной кислоты на натриевом основании ( $\text{NaHSO}_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) (способ 1 – сульфитная варка) и моносulfита  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  (способ 2 – моносulfитная варка);

– при температуре 170°C растворами едкого натра  $\text{NaOH}$  (способ 3 – натронная варка) и смесью едкого натра  $\text{NaOH}$  с сульфидом натрия  $\text{Na}_2\text{S}$  (способ 4 – сульфатная варка).

Расходы варочных растворов и их концентрации, а также гидромодуль и графики варки соответствовали стандартным условиям.

В таблице 2 представлена прочность (разрывная длина) образцов четырех видов целлюлозы (сульфитной, моносулфитной, натронной и сульфатной), полученных по 4 способам варки.

**Таблица 2 – Прочность образцов целлюлозы в зависимости от размеров щепы (4 вида) и способов ее химической переработки**

Размеры щепы	Способы химической переработки щепы	Разрывная длина, м
Вид 1	Способ 1 – сульфитная варка	6700
	Способ 2 – моносулфитная варка	6980
	Способ 3 – натронная варка	7300
	Способ 4 – сульфатная варка	7590
Вид 2	Способ 1 – сульфитная варка	4500
	Способ 2 – моносулфитная варка	5050
	Способ 3 – натронная варка	5470
	Способ 4 – сульфатная варка	5800
Вид 3	Способ 1 – сульфитная варка	7450
	Способ 2 – моносулфитная варка	7890
	Способ 3 – натронная варка	8350
	Способ 4 – сульфатная варка	8500
Вид 4	Способ 1 – сульфитная варка	6500
	Способ 2 – моносулфитная варка	6980
	Способ 3 – натронная варка	7000
	Способ 4 – сульфатная варка	7200

Сопоставительный анализ результатов исследований (таблица 2) позволяет сделать следующие выводы. Крупная щепа (виды 3 и 4), в которой максимально сохранены первоначальные размеры целлюлозных волокон (длина 4200 нм и толщина 25–40 мкм), позволяет получить целлюлозу с повышенной прочностью, о чем свидетельствуют достаточно высокие значения разрывной длины для образцов бумаги (60°ШР, 80 г/м<sup>2</sup>), которые находятся в следующих диапазонах: 7450–8500 м для хвойных пород древесины и 6500–7200 м для лиственных пород древесины. Щепа меньших размеров (виды 1 и 2) содержит не только волокна первоначальных размеров (длина 4200 нм и толщина 25–40 мкм), но и укороченные (длина 1800–2500 нм и толщина 20–30 мкм) целлюлозные волокна. Поэтому образцы бумаги (60°ШР, 80 г/м<sup>2</sup>), изготовленные из таких волокнистых полуфабрикатов, имеют невысокую разрывную длину в следующих диапазонах: 6700–7590 м для хвойных пород древесины и 4500–5800 м для лиственных пород древесины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черная, Н.В. Технология производства сульфитной целлюлозы. Учеб. пособие / Н.В. Черная. – Мн.: БГТУ, 2012. – Ч. 1. – 351 с.
2. Черная, Н.В. Технология производства щелочной целлюлозы. Учеб. пособие в 2 ч. Ч. 1 / Н.В. Черная, Н.В. Жолнерович. – Мн.: БГТУ, 2015. – 268 с.

УДК 676

Студ. Д.В. Титков  
Науч. рук. проф. Н.В. Черная  
(кафедра химической переработки древесины БГТУ)

### **СВОЙСТВА ЩЕЛОЧНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ЧЕРНЫХ ЩЕЛОКОВ И ПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ВЫПАРИВАНИЯ, СЖИГАНИЯ И КАУСТИЗАЦИИ**

Известно [1], что в технологии щелочной целлюлозы важную роль играет система регенерации черных щелоков. Она является достаточно сложной, так как является многостадийной – включает процессы подготовки черных щелоков к регенерации (отделение сырого сульфатного мыла, удаление мелкого волокна, укрепление и окисление черного щелока) и собственно систему регенерации, основанную на последовательном осуществлении процессов выпаривания, сжигания и каустизации [2].

Технологические режимы регенерации черных щелоков, проходящих стадии выпаривания и сжигания, оказывают существенное влияние на состав и свойства регенерированной извести. Последнюю используют в цехе каустизации (вместо свежепоступающей извести) для получения белого щелока, применяемого в основном варочном процессе. Для получения щелочной целлюлозы используют белый щелок с содержанием активной щелочи 95–105 г/л (в единицах  $\text{Na}_2\text{O}$ ) с сульфидностью 25–40%, а также со степенью каустизации 75–80%.

В настоящее время при получении щелочных видов целлюлозы практически все сульфатцеллюлозные и натронные заводы регенерируют известь путем обжига каустизационного известкового шлама в известерегенерационных печах.

Научный и практический интерес представляет информация о влиянии качества извести (свежепоступающей и регенерированной) на свойства щелочной целлюлозы, которые зависят от степени

делигнификации. Получаемая целлюлоза может быть жесткой, нормальной и средней жесткости, а также мягкой. Для получения конкретного вида целлюлозы необходимо управлять не только процессом варки, но и составом белого щелока, полученного с использованием регенерированной извести, отличающейся компонентным составом.

Цель работы – изучение свойств щелочной целлюлозы в зависимости от технологических режимов регенерации черных щелоков и протекающих процессов выпаривания, сжигания и каустизации.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

- определить компонентный состав (содержание активных CaO, MgO и SiO<sub>2</sub> и других соединений) и активность регенерированной извести;
- изучить влияние регенерированной извести на эффективность процесса каустизации и активность белого щелока;
- исследовать химический состав и физико-механические показатели щелочной целлюлозы в зависимости от состава белого щелока, полученного с использованием регенерированной извести.

Для проведения исследований применяли стандартные методики и современное моделирующее и испытательное оборудование.

**Результаты исследований и их обсуждение.** При решении первой задачи получено, что регенерированная известь содержит следующие активные соединения: 72% CaO, 5% MgO и 2% SiO<sub>2</sub>; на долю других соединений (оксидов железа, алюминия и т. д.) приходится не более 21%, что не противоречит общепризнанным данным.

При решении второй задачи установлено, что регенерированная известь из-за склонности к спеканию имеет меньшую активность, чем свежая известь. На скорость осаждения и способность к фильтрации шлама CaCO<sub>3</sub>, образующего в процессе каустизации, оказывает влияние температура обжига извести и время нахождения шлама в зоне обжига известерегенерационной печи. Хорошо осаждающийся шлам получается из извести, обжигаемой при температуре 1150–1200°С в течение 1–2 ч. Получено, что степень каустизации повышается от 75 до 85% до в том случае, когда регенерированная известь содержит максимально возможное количество активной CaO, достигающее 70% и более.

При решении третьей задачи изучены химический состав (таблица 1) и физико-механические свойства щелочных видов целлюлозы из хвойных пород древесины (ели) (таблица 2) в зависимости от активности белого щелока, полученного с использованием регенерированной извести. Активность белых

щелоков определяли по степени их каустизации, которая составляла 75, 78, 81 и 85%.

**Таблица 1 – Химический состав щелочных видов целлюлозы**

Вид целлюлозы	Перманганатная жесткость	Содержание компонентов, %			
		Лигнин	Зола	Альфа-целлюлоза	Жиры и смолы
Жесткая	133	7,7	1,13	83,3	0,26
Нормальной жесткости	112	4,7	0,95	86,3	0,23
Средней жесткости	92	3,1	0,88	88,3	0,20
Мягкая	76	1,7	0,78	89,8	0,19

Из таблицы 1 видно, что вид целлюлозы (жесткая, нормальной и средней жесткости, мягкая) зависит от ее химического состава. Установлено, что снижение перманганатной жесткости целлюлозы от 133 до 76 сопровождается уменьшением содержания лигнина от 7,7 до 1,7%. При этом снижается содержание золы от 1,13 до 0,78%, а также смол и жиров от 0,26 до 0,19%, а содержание альфа-целлюлозы, наоборот, повышается от 83,3 до 89,8%.

**Таблица 2 – Свойства щелочных видов целлюлозы**

Наименование показателя	Значение показателя при степени каустизации, %			
	75	78	81	85
Вид целлюлозы	Жесткая	Нормальной жесткости	Средней жесткости	Мягкая
Разрывная длина, м	8700	7800	6800	6800
Сопротивление излому, ч. д. п.	2400	1600	1000	1200

Получено, что степень каустизации оказывает существенное влияние на степень делигнификации (таблица 1) и свойства целлюлозы (таблица 2) и, следовательно, ее вид (жесткая, нормальной и средней жесткости, мягкая) и область применения.

Таким образом, свойства щелочных видов целлюлозы и область их применения зависит от технологических режимов регенерации черных щелоков и протекающих процессов выпаривания, сжигания и каустизации. Особое значение играет показатель «степень каустизации». Исследования позволили сделать два важных вывода. В-первых, для получения жесткой целлюлозы, отличающейся повышенным содержанием лигнина (7,7%), необходимо регенерировать черный щелок по такому технологическому режиму, чтобы степень каустизации была минимальной (около 75%). Во-вторых, для получения мягкой целлюлозы, содержащей минимальное



количество лигнина (1,7%), следует технологический режим регенерации организовать таким образом, чтобы степень каустизации была максимальной и достигала 85% и более.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Черная, Н.В. Технология производства щелочной целлюлозы. Учеб. пособие в 2 ч. Ч. 1 / Н.В. Черная, Н.В. Жолнерович. – Мн.: БГТУ, 2015. – Ч. 1. – 268 с.; Ч. 2. – 205 с.

2. Черная, Н.В. Технология щелочной целлюлозы: регенерация химикатов, очистка и рекуперация промышленных выбросов Учеб. пособие в 2 ч. Ч. 1 / Н.В. Черная, Н.В. Жолнерович. – Мн.: БГТУ, 2017. – 171 с.

УДК 676

Студ. А.А. Дешев

Науч. рук. проф. Н.В. Черная

(кафедра химической переработки древесины БГТУ)

### **ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛЕННОЙ ХИМИКО-ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ МАССЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ В КОМПОЗИЦИИ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО КАРТОНА**

Беленая химико-термомеханическая масса (БХТММ) относится к перспективным видам первичных волокнистых полуфабрикатов. В отличие от дорогостоящей и дефицитной беленой целлюлозы она применяется в технологии полиграфических видов картона, которые широко используют в различных отраслях промышленности.

Технология получения БХТММ является многостадийной. Каждая стадия оказывает существенное влияние на свойства БХТММ. Особое значение имеет стадия, на которой необходимо обеспечить получение щепы необходимого размера.

При получении БХТММ широко используют древесину хвойных пород (ель, сосну и др.). В то же время переработка древесины из лиственных пород (березы, ольхи и др.) вызывает трудности в технологии БХТММ, а получаемый целевой продукт уступает по своим прочностным свойствам, что сдерживает расширение его использования в композиции полиграфического картона. Поэтому получение БХТММ с частичной заменой хвойных пород древесины (осины) на лиственные (березу) представляет научный и практический интерес.

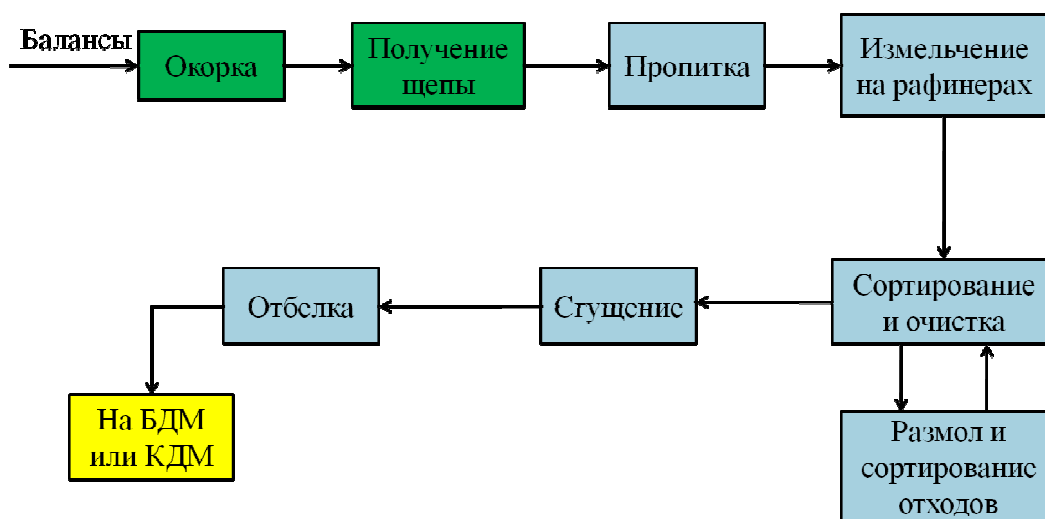


Рисунок – Блок-схема получения БХТММ

Цель исследования – изучение особенностей получения БХТММ из древесины осины и березы и разработка технологического режима ее использования в композиции полиграфического картона.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие основные задачи: исследовать свойства БХТММ, полученной из древесины ели (50%) и березы (50%), в зависимости от размеров щепы; изучить физико-механические свойства полиграфического картона в зависимости от свойств БХТММ.

Для достижения поставленной цели и решения сформулированных задач исследования проводили в два этапа: на первом этапе получали образцы БХТММ из щепы смеси древесных пород: 50% осины и 50% березы и определяли ее свойства; на втором этапе сначала изготавливали образцы полиграфического картона с использованием в его среднем слое полученной БХТММ, а затем определяли его физико-механические свойства. Ниже приведены результаты исследования по выполнению каждого этапа работы.

**Этап 1.** Процесс получения щепы включал три основные стадии: одну основную (механическую переработку древесного сырья в волокнистый полуфабрикат) и две вспомогательные (предварительную подготовку древесины и обработку волокнистой массы). Влажность щепы составляла 40%. Длина щепы изменялась от 10 до 20 мм. Толщина щепы составляла  $4,0 \pm 0,2$  мм. Подготовка щепы к размолу включала ее предварительную обработку: пропаривание, пропитку водой и химическую обработку бисульфитом натрия  $\text{NaHSO}_3$ . Размол щепы проводили таким образом, чтобы сначала щепка

разделялась на волокна, а затем волокна подвергались фибриллированию.

Свойства БХТММ определяли по стандартным методикам. Образцы БХТММ лабораторного изготовления обладали свойствами, приведенными в таблице 1.

**Таблица 1 – Свойства образцов БХТММ**

Наименование параметра	Значение параметра при длине щепы, мм			Норма
	10	15	20	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	535	508	495	350–550
Индекс сопротивления раздиранию, мН·м <sup>2</sup> /г	7,0	7,2	7,4	7,5 и более
Индекс сопротивления разрыву при растяжении, Н·м/г	39	41	43	36 и более
Белизна (ISO), %	61	63	66	60 и более

Из таблицы 1 видно, что свойства образцов БХТММ, полученных из щепы древесины ели (50%) и березы (50%), соответствуют нормируемым значениям. При этом щепа отличалась размерами и имела длину, мм: 10, 15 и 20 мм для образцов 1, 2 и 3 соответственно.

Следовательно, частичная (50%) замена древесины хвойных пород на древесину лиственных пород позволяет получить БХТММ со свойствами, соответствующими нормируемым значениям. Полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что опытные образцы БХТММ, полученные из смеси древесных пород (50% ели и 50% березы), можно применять в композиции полиграфического картона.

**Этап 2.** При выполнении этого этапа на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten» (Германия), моделирующем работу картоноделательной машины, изготавливали элементарные слои картона массой 80 г/м<sup>2</sup>: покровный и основной – из целлюлозы беленой, средние – из опытных образцов БХТММ. Для придания покровному слою гидрофобных свойств целлюлозную массу проклеивали клеем АСА (расход 3 кг/т по абсолютно сухому веществу). Для повышения удержания компонентов волокнистой суспензии в структуре картонного полотна применяли вспомогательную химическую добавку А-17 в количестве 1 кг по абсолютно сухому веществу. Полиграфический картон (без мелованного покрытия) при использовании в его композиции БХТММ (образцы 1–3) обладает регламентируемыми показателями качества (таблица 2).

**Таблица 2 – Физико-механические показатели качества образцов полиграфического картона**

Наименование параметра	Значение параметра для образцов			Норма
	1	2	3	
Белизна поверхностного слоя, %	82	82	82	Не менее 80
Впитываемость воды при одностороннем смачивании (Кобб <sub>60</sub> ), г/м <sup>2</sup>	29	26	24	Не более 30
Влажность, %	7,0	7,0	7,0	5,5–8,5

Таким образом, показана практическая целесообразность использования в технологии БХТММ щепы, отличающейся породным составом. К практическому использованию рекомендуется щепы, имеющая длину  $4,0 \pm 0,2$  мм и толщину 10–20 мм. Ее можно получать не только из хвойных пород древесины, но и частично из быстрорастущих лиственных (березы). Использование смеси древесных пород (50% ели и 50% березы) позволяет получать БХТММ с требуемыми физико-механическими свойствами. Последующее применение такой БХТММ в композиции полиграфического картона обеспечивает ему необходимые показатели качества.

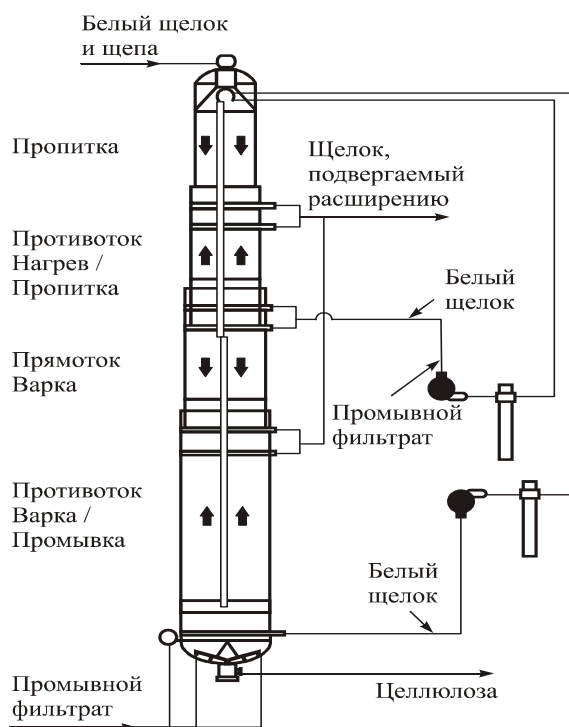
УДК 676

Студ. С.В. Боровой  
 Науч. рук. проф. Н.В. Черная  
 (кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

### **ОСОБЕННОСТИ СУЛЬФАТНОЙ ВАРКИ, КИСЛОРОДНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ И ОТБЕЛКИ ЩЕЛОЧНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Современные технологические решения по получению высококачественных видов бленой целлюлозы основываются на последовательном осуществлении процессов сульфатной варки по непрерывному способу, кислородной делигнификации и отбели. В настоящее время широко применяется непрерывная сульфатная варка целлюлозы по технологии «Lo-Solids» [1]. В Республике Беларусь построен завод на ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат» по производству целлюлозы сульфатной бленой. Технология ее получения основана на последовательном осуществлении сульфатной варки (в качестве варочного раствора используют смесь едкого натра NaOH и сульфида натрия Na<sub>2</sub>S),

кислородной делигнификации и отбелики полученной щелочной целлюлозы по способу TCF.



**Рисунок 1 – Схема непрерывной сульфатной варки целлюлозы по технологии «Lo-Solids» с двумя стадиями отбора щелока и подачи промывного фильтрата**

Варка целлюлозы по технологии «Lo-Solids» (рис. 1) обеспечивает не только углубление стадии объемной делигнификации [1], но и выравнивание концентрации активной щелочи по высоте котла и обеспечение высокой концентрации ионов  $HS^-$  в начале варки.

Актуальными проблемами является повышение свойств щелочной целлюлозы небеленой и беленой. Поэтому проведение исследований в этом направлении представляет научный и практический интерес. Цель исследования – разработка технологических режимов повышения свойств целлюлозы щелочной небеленой и беленой.

Для достижения поставленной цели работу проводили в два этапа: на первом этапе изучали влияние свойств белого щелока, используемого для процессов варки и кислородной делигнификации, на свойства щелочной целлюлозы; на втором этапе изучали влияние условий процесса отбелики целлюлозы на ее свойства.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Исследования проводили с древесиной сосны. Полученная из нее щепа имела следующие размеры, мм: толщина – 3,5, длина – 25,0, ширина – 18,5.

При выполнении этапа 1 процессы сульфатной варки и кислородной делигнификации проводили по двум вариантам (таблица 1). Они отличались свойствами белого щелока. Концентрация активной щелочи в белом щелоке составляла, г/л в ед.  $Na_2O$ : 90 по варианту 1 и 120 по варианту 2. Это позволило изменять параметры белого щелока в следующих диапазонах, %: степень сульфидности – от 25 до 40, степень каустизации – от 75 до 85,

степень в восстановления – от 90 до 99 и степень активности – от 70 до 90. Температура протекающих процессов была постоянной и составляла 170°C.

**Таблица 1 – Условия сульфатной варки и кислородной делигнификации**

Наименование параметра	Значение параметра	
	Вариант 1	Вариант 2
Степень сульфидности, %	25	40
Степень каустизации, %	75	85
Степень восстановления, %	90	99
Степень активности, %	70	90

В таблице 2 приведены свойства образцов целлюлозы сульфатной небеленой, полученной по вариантам 1 и 2.

**Таблица 2 – Свойства образцов целлюлозы сульфатной небеленой**

Наименование показателя	Значение показателя	
	Вариант 1	Вариант 2
Степень провара (перманганатное число)	100	120
Разрывная длина, м	7650	9000
Сопротивление излому, ч. д. п.	2870	3000
Зольность, %	0,32	0,30
pH водной вытяжки целлюлозы	7,0	7,0
Влажность, %	10	10

Получено, что повышение концентрации активной щелочи в белом щелоке от 90 г/л в ед. Na<sub>2</sub>O (вариант 1) до 120 г/л в ед. Na<sub>2</sub>O (вариант 2) позволяет улучшить прочностные свойства образцов целлюлозы сульфатной небеленой. Об этом свидетельствует повышение разрывной длины от 7650 до 9000 м и сопротивление излому от 2870 до 3000 ч. д. п. Это можно объяснить снижением степени деструкции целлюлозных волокон за счет смещения pH протекающих процессов от 8,7 до 9,2, то есть в более щелочную область.

Следовательно, повышение концентрации активной щелочи в белом щелоке от 90 до 120 г/л в ед. Na<sub>2</sub>O позволяет улучшить свойства целлюлозы сульфатной небеленой следующим образом: разрывную длину на 15–17% и сопротивление излому на 4–5%.

При выполнении этапа 2 процесс отбелки целлюлозы сульфатной небеленой, полученной по варианту 2 (таблица 1) и имеющей высокие прочностные свойства, проводили по двум способам (таблица 3): способ 1 – по технологии ECF; способ 2 – по технологии TCF.

**Таблица 3 – Расходы химикатов на отбелку**

Химикаты	Способ 1 (отбелка ЕСФ)	Способ 2 (отбелка ТСФ)
Сульфат магния	2,5	6–10
Двуокись хлора	8–15	–
Едкий натр	5–15	30–40
Кислород	25–30	35–40
Перекись водорода	2–8	15–35
Озон	–	4–6

Свойства образцов целлюлозы бленой в зависимости от способов их отбелки представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Свойства образцов целлюлозы сульфатной бленой**

Параметр	Способ 1 (отбелка ЕСФ)	Способ 2 (отбелка ТСФ)
Выход, %	97,2–98,5	97,0–97,5
Вязкость, мл/г	800–950	700–850
Белизна, %	90–92	87–91
Разрывная длина, м	8950	7600

Из таблицы 4 видно, что использование технологии отбелки ЕСФ (способ 1) позволяет получить образцы целлюлозы с улучшенными (на 10–17%) свойствами по сравнению с применением технологии отбелки ТСФ (способ 2).

Таким образом, для повышения свойств целлюлозы щелочной необходимо проводить процессы варки и кислородной делигнификации при концентрации активной щелочи в белом щелоке 120 г/л в ед.  $\text{Na}_2\text{O}$ , а процесс отбелки – по технологии ЕСФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Черная, Н. В. Технология производства щелочной целлюлозы. В 2 ч. Ч. 1 : учеб. пособие для студентов ВУЗов по специальности «Химическая технология переработки древесины» / Н. В. Черная, Н. В. Жолнерович. – Минск : БГТУ, 2015. – 268 с.

УДК 582.929:543.544.32:615.280

студ. Д.Г. Полуянова

Науч. рук. доц. Т.И. Ахрамович

(кафедра биотехнологии и биоэкологии, БГТУ);

доц. Н.А. Коваленко

(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

## **АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ**

Эфирные масла хвойных растений обладают иммуномодулирующими, ранозаживляющими, антимикробными, противовоспалительными свойствами. Различные классы органических соединений, входящие в состав эфирных масел, изменяют скорость протекания биохимических реакций, оказывая деструктивное воздействие на цитоплазматические мембраны и мезосомы микроорганизмов и снижая активность окислительного фосфорилирования [1, 2].

Биологическая активность эфирных масел зависит от их компонентного состава, качественные и количественные характеристики которого, в свою очередь, определяются хемотипом растений, почвенно-географическими условиями их произрастания, особенностями технологии заготовки и обработки растительного сырья и рядом других факторов [3, 4]. Важную роль в проявлении лечебных свойств эфирных масел играет оптическая активность входящих в их состав компонентов, поскольку оптические изомеры одного и того же соединения оказывают различное действие на организм [5, 6].

В доступной научной литературе отсутствуют сведения о компонентном составе, распределении энантиомеров и биологической активности эфирного масла растений *Pseudotsuga menziesii*, культивируемых в условиях центральной агроклиматической зоны Беларуси.

Цель настоящей работы – изучение компонентного состава и антибактериальной активности эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси.

Объектами исследования являлись эфирные масла, выделенные из охвоенных концов ветвей длиной 30-40 см *Pseudotsuga menziesii*. Эфирные масла получали методом перегонки с водяным паром.

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. Временем удерживания несорбирующегося газа считали время выхода пика метана. Идентификацию компонентов эфирных масел и их



энантиомеров проводили сравнением рассчитанных значений со значениями индексов удерживания стандартных образцов. Количественные определения проводили по методу внутренней нормализации по площадям газохроматографических пиков без использования корректирующих коэффициентов.

Антибактериальную активность определяли методом диффузии растворов эфирного масла в агар (метод бумажных дисков). В качестве тест-культур использовали санитарно-показательные микроорганизмы: *Staphylococcus aureus*, *Salmonella alony*, *Bacillus subtilis*. Суточную культуру микроорганизмов (0,1 мл) распределяли шпателем по поверхности подсохшей плотной питательной среды в чашке Петри. На поверхности засеянных сред раскладывали стерильные бумажные диски диаметром 0,5 см на равном удалении друг от друга и расстоянии 1,5–2,0 см от края чашки. На диски наносили по 10 мкл растворов эфирных масел в этаноле, выдерживали посеvy при 4°C в течение 4 ч с последующим инкубированием в термостате при 30°C в течение 24 ч. Результат учитывали по наличию и диаметру зон ингибирования.

Анализ состава эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* позволил обнаружить более 40 компонентов, 21 из которых идентифицированы. Основную долю составляют монотерпеновые соединения. Их суммарное содержание достигает 35–37 %. Количественно преобладают камфен (~14–15 %),  $\alpha$ -пинен (~7–8 %),  $\beta$ -пинен (~8–10 %). Кислородсодержащие соединения представлены преимущественно борнилацетатом (~25–30 %), терпинен-4-олом (~5–7 %), ментоном (~2–3 %) и карвоном (~3–4 %).

На основании хроматографических данных установлено, что  $\alpha$ -пинен,  $\beta$ -пинен, лимонен и ментон представлен преимущественно в виде левовращающих изомеров, в отличие от камфена, энантиомерный избыток правовращающей формы которого составляет ~ 85 %. Отличительной особенностью эфирного масла псевдотсуги является оптическая чистота по борнилацетату, который представлен в исследованном образце только в виде (-)-формы.

Антибактериальная активность этанольных растворов эфирного масла псевдотсуги приведена в таблице. Этанольные растворы исследованного эфирного масла подавляют рост как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий. При снижении концентрации эфирного масла в 100 раз (от 5,0 % до 0,05 %) бактерицидные свойства несколько уменьшаются, однако все образцы проявляют антимикробные свойства.

**Таблица – Диаметры зоны ингибирования роста тест-культур этанольными растворами эфирного масла *Pseudotsuga menziesii***

Тест-культуры бактерий	Диаметр зоны ингибирования роста, мм		
	5,0% раствор	0,5% раствор	0,05% раствор
<i>Staphylococcus aureus</i>	17,8	10,5	8,4
<i>Salmonella alony</i>	14,2	7,0	5,7
<i>Bacillus subtilis</i>	15,8	8,7	6,5

Эфирное масло наиболее сильно подавляет рост *Staphylococcus aureus*. В меньшей степени оно оказывает влияние на грамотрицательные бактерии *Salmonella alony*. Широкий спектр антибактериальных свойств полученного образца эфирного масла обусловлен его сложным многокомпонентным составом. По литературным данным [1, 2] наибольший вклад в антимикробную активность эфирных масел вносят кислородсодержащие соединения. Однако установлено, что даже небольшие концентрации  $\alpha$ - и  $\beta$ -пиненов оказывают влияние на антибактериальный эффект в отношении микроорганизмов.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о перспективности использования эфирного масла *Pseudotsuga menziesii* для разработки и создания антибактериальных препаратов на основе растительного сырья отечественного происхождения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дутова, С.В. Фармакологические и фармацевтические аспекты действия извлечений из сырья эфирномасличных растений: автореф. дис. ... док. фарм. наук:14.03.06 / С.В. Дутова; Волгоградский мед. унив. – Волгоград, 2016. – 39 с.
2. Атажанова Г.А. Терпеноиды эфирных масел растений. Распространение, химическая модификация и биологическая активность. М.: ICSPF, 2008. 288 с.
3. Гуринович Л.К., Пучкова Т.В. Эфирные масла: химия, анализ и применение. М.: Школа Косметических Химиков, 2005. 192 с.
4. Войткевич, С.А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии / С.А. Войткевич. – М.: Пищевая промышленность, 1999. – 329 с.
5. Ткачев А.В. Хироспецифический анализ летучих растительных веществ // Успехи химии. – 2007. –Т. 76, вып. 10. – С. 1014–1032.
6. Shutava H.G., Kavalenka N.A., Supichenka H.N., Leontiev V.N., Shutava T.G. Essential Oils of Lamiaceae with High Content of  $\alpha$ -,  $\beta$ -Pinene and Limonene Enantiomers // J. Es.Oil Bearing Plants. – 2014. – V. 17, № 1 – P. 18–25.

УДК 543.544.32:547.913

студ. А.Н. Крым, М.Г. Лесковец

Науч. рук. Г.Н. Супиченко

(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЖХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ**

Использование природных антиоксидантов в пищевых продуктах, напитках и парфюмерной промышленности в последнее время значительно возросло вследствие растущего интереса потребителей к ингредиентам природного происхождения, так как синтетические добавки потенциально вредны. В связи с этим отмечено, что альтернативой синтетическим антиоксидантам могут служить эфирные масла пряно-ароматических растений. Известно, что эфирные масла замедляют окисление жиров и микробиологическую порчу продуктов. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется изучению биологической активности эфирных масел, в том числе антиоксидантной.

Из существующего разнообразия методов определения антиоксидантной активности (АОА) выбрали метод с использованием газожидкостной хроматографии (ГЖХ). Выбор был обоснован надежностью метода, наличием необходимых химреактивов и прибора.

Сущность метода, предложенного А. Л. Самусенко, заключается в ингибировании процесса окисления транс-2-гексеналя до гексеновой кислоты растительными антиоксидантами [1]. Этот метод в сочетании с капиллярной ГЖХ позволяет изучить антиоксидантные (АО) свойства эфирного масла.

Целью нашей работы являлось определение антиоксидантной активности эфирного масла с использованием капиллярной газожидкостной хроматографии.

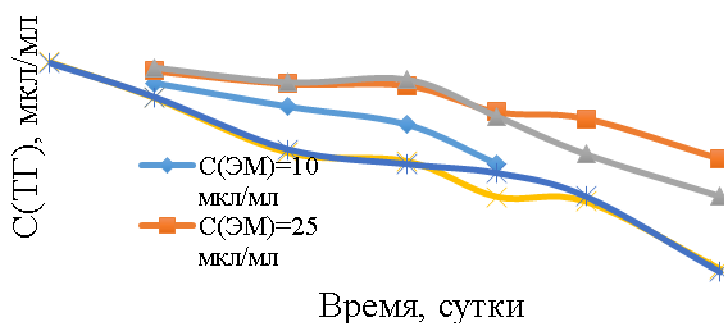
Объектом анализа являлось эфирное масло многоколосника золотистого.

Для оценки АО свойств эфирного масла в 50 мл н-гексана растворили 100 мкл транс-2-гексеналя и 400 мкл н-додекана. Аликвоты полученного раствора  $V = 2$  мл поместили в стеклянные пробирки объемом 5 мл, и добавили по 20, 50 и 100 мкл эфирного масла многоколосника. Образцы в закрытых пробками пробирках держали при комнатной температуре в течение 45 суток. Источником света служило естественное освещение в лаборатории. Изменения содержания транс-2-гексеналя в пробирках контролировали методом ГЖХ.

Газохроматографический анализ растворов транс-2-гексенала в присутствии эфирных масел осуществлялся на хроматографе «Цвет-800» с пламенно-ионизационным детектором с использованием стеклянной капиллярной колонки Cyclosil B длиной 30 м, внутренним диаметром 0,32 мм, неподвижная фаза  $\beta$ -циклодекстрин (0,25 мкм) при следующем температурном режиме: 70°C (изотерма в течение 5 минут), скорость нагрева 3°/мин до 115°C (изотерма в течение 20 мин), скорость нагрева 4°/мин до 200°C (изотерма в течение 10 мин) в токе газа-носителя азота.

Количественное содержание транс-2-гексенала определяли методом внутреннего стандарта, в качестве которого использовали додекан. Идентификацию компонентов эфирного масла осуществляли на основе величин индексов удерживания путем их сопоставления с литературными или экспериментальными данными, полученными нами. Количественное содержание компонентов эфирных масел рассчитывали методом внутренней нормализации без учета поправочных коэффициентов. В контрольных растворах транс-2-гексеналь окислялся до гексеновой кислоты и содержание его в растворе уменьшилось приблизительно вдвое за 45 суток (рисунок 1).

В присутствии эфирного масла многоколосника золотистого расхождение транс-2-гексенала замедляется. Ингибирующее действие эфирного масла на окисление транс-2-гексенала зависит от концентрации эфирного масла. Так в присутствии эфирного масла с концентрацией 10 мкл/мл наблюдается только замедление процесса окисления транс-2-гексенала. Увеличение концентрации эфирного масла свыше 25 мкл/мл приводит к торможению окисления до 25 суток.



**Рисунок 1 – Изменение концентрации транс-2-гексенала во времени**

На основании этих данных, было интересно изучить влияние активных компонентов эфирного масла многоколосника на скорость окисления альдегида.

Биологическая активность эфирных масел зависит от присутствующих в них основных компонентов, т.е. от их состава. Основными компонентами эфирного масла *Agastache aurantiaca* являются: (+)-ментон (64,5%), (+)-пулегон (25,3%), (+)-лимонен (3,98%), изоментон (1,8%), метилхавикол.

При изучении кинетических изменений содержания основных компонентов установлено, что наибольшим изменениям подвергался (+)-пулегон ((*R*)-*p*-мент-4(8)-ен-3-он). Степень превращения (+)-пулегона за 45 суток в зависимости от концентрации добавленного эфирного масла представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Степень превращения (+)-пулегона от концентрации эфирного масла многоколосника при окислении транс-2-гексенала**

Таким образом, с использованием метода ГЖХ определено, что эфирное масло многоколосника обладает антиоксидантной активностью. Величина АОА эфирного масла находится в зависимости от концентрации. Эфирное масло многоколосника в концентрации 25 мкл/мл и выше до 25 суток подавляет процесс окисления транс-2-гексенала. Ингибирование окисления транс-2-гексенала связано с изменением содержания (+)-пулегона в составе эфирного масла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Самусенко, А.Л. Изучение зависимости антиоксидантной активности эфирных масел кориандра, имбиря, семян тмина и розового грейпфрута от концентрации масла в системе методом капиллярной газовой хроматографии / А.Л. Самусенко // Химия растительного сырья. – 2014. – № 1. – С. 221-227.

УДК 54–31+537.31/.32+537.226+666.654

Студ. Г.И. Минаков

Науч.рук. доц. А.И. Клындюк

(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

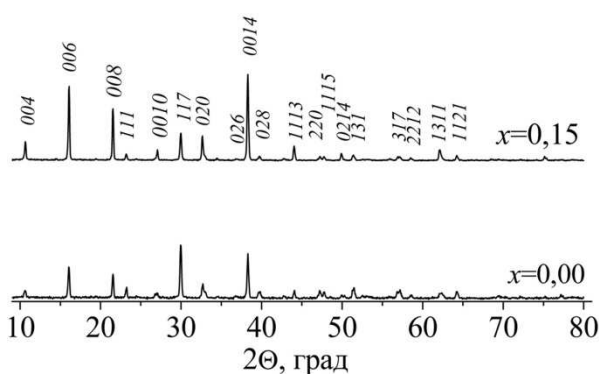
## **СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО ТИТАНАТА ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННОГО ОКСИДОМ ПРАЗЕОДИМА**

Соединение  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  является фазой Ауривиллиуса и представляет собой сегнетоэлектрик с высокой температурой Кюри ( $T_C = 948 \text{ K}$ ). Способность сохранять сегнетоэлектрические свойства в широком интервале температур позволяет рассматривать слоистый титанат висмута как перспективный материал для радио-, акусто- и оптоэлектроники, пригодный для изготовления оптических дисплеев, пьезоэлектрических преобразователей, фильтров, радиотехнических конденсаторов, а также запоминающих устройств различных типов.

В работе представлены результаты исследования теплового расширения, кристаллической структуры, электрических и диэлектрических свойств керамических образцов празеодимзамещенного слоистого титаната висмута  $\text{Bi}_{3,75}\text{Pr}_{0,15}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ .

Твердый раствор получали трехстадийным керамическим методом из  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  квалификации «х.ч.», взятых в соответствующих стехиометрических соотношениях. Исходную шихту подвергали помолу с добавлением этанола в планетарной мельнице «Pulverizette 6» (350 об/мин, 30 мин), после чего просушивали на воздухе для удаления этанола и прессовали с добавлением этанола под давлением 50–75 МПа в таблетки диаметром 25 мм и высотой 5–7 мм, которые отжигали при температуре 923 К на воздухе в течение 6 ч для перевода  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  из исходной  $\alpha$ -формы в более активную  $\delta$ -форму [1]. После предварительного отжига повторяли операции помола и прессования, после чего образцы отжигали на воздухе при температуре 1023 К в течение 6 ч для предотвращения плавления  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  [1]. Далее вновь повторяли операции помола и прессования, при котором образцы под давлением 110–130 МПа формировали в виде прямоугольных параллелепипедов размером 5×5×30 мм, а затем отжигали при температуре 1223 К на воздухе в течение 5 ч. Для измерения электропроводности и диэлектрических свойств из спеченной керамики вырезали образцы в форме прямоугольных параллелепипедов размером 4×4×2 мм.

Идентификацию образцов осуществляли при помощи рентгенофазового анализа (РФА). Определено, что образец



**Рисунок 1 – Рентгеновские дифрактограммы порошков  $\text{Bi}_{4-x}\text{Pr}_x\text{Ti}_3\text{O}_{12}$**

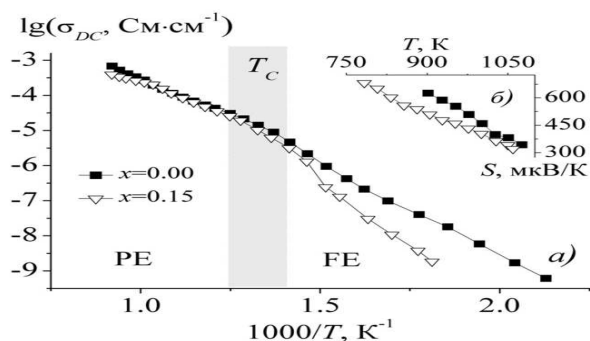
параэлектрик». При этом в области фазового перехода термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР) как для незамещенной фазы, так и для твердого раствора  $\text{Bi}_{3,75}\text{Pr}_{0,15}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ , скачкообразно увеличивается. Так в низкотемпературной области ТКЛР составляет  $10,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  и  $9,10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , а в высокотемпературной –  $13,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  и  $13,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  для незамещенной фазы и  $\text{Bi}_{3,75}\text{Pr}_{0,15}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  соответственно.

Как видно из данных (рис. 2, а, б), твердый раствор  $\text{Bi}_{3,75}\text{Pr}_{0,15}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ , как и незамещенная фаза, является полупроводником *p*-типа. Во всем интервале температур и электропроводность, измеренная на постоянном токе, и коэффициент термо-ЭДС твердого раствора были ниже, чем для незамещенной фазы.

Значения коэффициента Зеебека для исследуемой керамики близки по величине (рисунок 2, б), что согласуется с изовалентным характером замещения ионов висмута ионами празеодима. Однако удельная электрическая проводимость образцов падает при замещении висмута празеодимом (рисунок 2, а) вследствие уменьшения концентрации дефектов в кристаллической решетке твердого раствора  $\text{Bi}_{3,85}\text{Pr}_{0,15}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ . Вблизи температуры Кюри наблюдается изменение наклона линейных зависимостей в координатах Аррениуса.

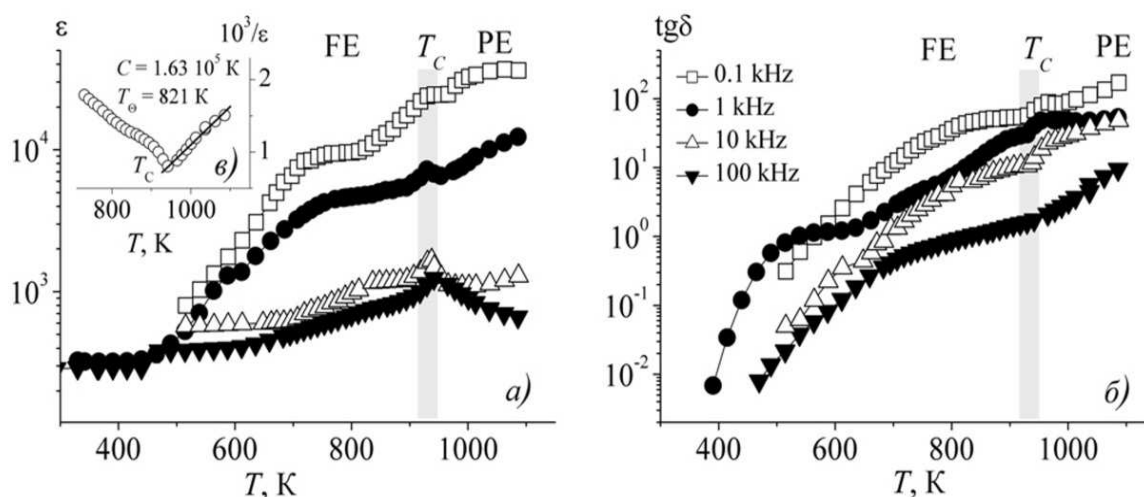
$\text{Bi}_{3,75}\text{Pr}_{0,15}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  был однофазным, а его структура соответствовала структуре слоистого титаната висмута  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  (рис. 1).

На температурных зависимостях относительного удлинения ( $\Delta l/l_0 = f(T)$ ) для исследованной керамики были обнаружены аномалии в области фазового перехода «сегнетоэлектрик –



**Рисунок 2 – Температурные зависимости электропроводности (а) на постоянном токе и коэффициента термо-ЭДС (б) керамики состава  $\text{Bi}_{4-x}\text{Pr}_x\text{Ti}_3\text{O}_{12}$**

Значение энергии активации удельной электропроводности образцов в параэлектрической области (PE) существенно ниже по сравнению с сегнетоэлектрической областью (FE). Частичное замещение ионов висмута ионами празеодима в  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  приводит к росту значений энергии активации электропроводности керамики в FE-области и понижает их в PE-области.



**Рисунок 3 – Температурные (а, б) зависимости диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) спеченной керамики состава  $\text{Bi}_{3.85}\text{Pr}_{0.15}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ , измеренные на разных частотах переменного тока. На вставке (в) показано определение констант уравнения Кюри-Вейсса**



Температура Кюри керамики  $\text{Bi}_{3.85}\text{Pr}_{0.15}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  была частотно независимой (рисунок 3, а, б), из чего следует, что этот материал является нормальным сегнетоэлектриком. Как видно из рисунка 3, увеличение частоты переменного электрического тока приводило к существенному снижению диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь керамики вследствие уменьшения числа вкладов в ее поляризацию при высоких частотах.

Таким образом, в данной работе твердофазным методом синтезирована керамика  $\text{Bi}_{3.85}\text{Pr}_{0.15}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ , изучены ее кристаллическая структура, тепловое расширение и электрофизические свойства. Установлено, что при фазовом переходе сегнетоэлектрик  $\rightarrow$  параэлектрик ТКЛР керамики скачкообразно возрастает, а энергия активации электропроводности на постоянном токе уменьшается.

#### ЛИТЕРАТУРА

Синтез и свойства хромсодержащих твердых растворов титаната висмута со структурой типа слоистого перовскита/ М.С. Королева [и др.] // Изв. Коми научн. центра УрО РАН. – Вып. 1(9). – 2012. – С. 24–28.

УДК 620.193.25

Студ. Р.В. Сташкевич, Д.К. Пестов  
Науч. рук. зав. кафедрой И. И. Курило,  
асс. И. В Макарова  
(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

#### **МОДИФИКАЦИЯ АНОДНО-ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК НА СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ СОЕДИНЕНИЯМИ ХРОМА И НИКЕЛЯ**

Наряду с совершенствованием процесса анодирования в настоящее время в мировой практике активно развивается такое перспективное направление защиты сплавов алюминия от коррозии и придания им декоративного вида, как разработка способов получения двойных гидроксидных покрытий  $\text{Al}(\text{OH})_3 - \text{Me}(\text{OH})_2$  ( $\text{Me} = \text{Zn}, \text{Ni}$  [1],  $\text{Cu}, \text{Sn}$  [1],  $\text{Mn}$ ), а также способов непосредственного химического и электрохимического [2, 3] осаждения пигментированных оксидных пленок на основе оксоанионов переходных металлов на предварительно подготовленную алюминиевую поверхность.

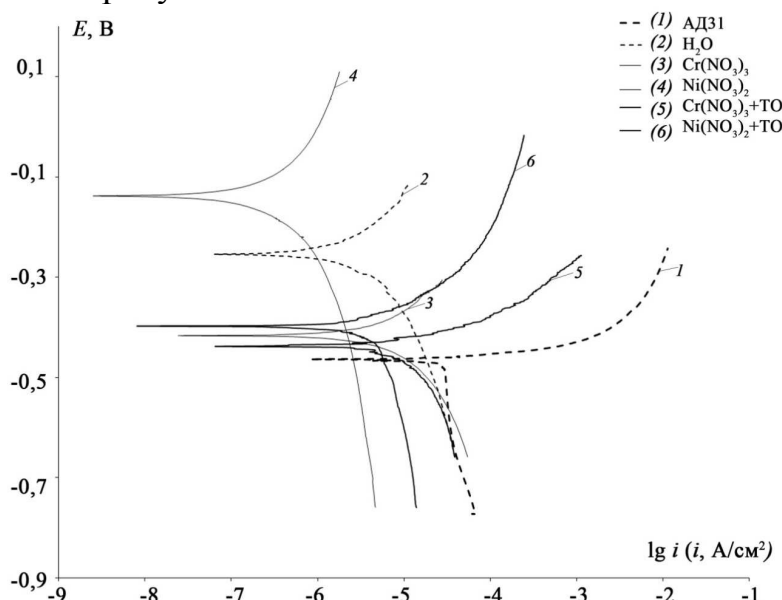
В связи с этим, актуальным является проведение исследований по изысканию новых и совершенствованию существующих способов получения модифицированных анодно-оксидных покрытий (АОП) на алюминиевых сплавах, обеспечивающих коррозионную защиту,

экологическую безопасность, низкую энергоемкость и эксплуатационно-техническую надежность конструкционных материалов и металлоконструкций.

Целью работы явилось изучение влияния состава раствора уплотнения на основе соединений Cr(III) и Ni(II) на коррозионные устойчивость анодно-модифицированных пленок.

В качестве объекта исследования использовали сплав АД31. Предварительную подготовку образцов осуществляли согласно ГОСТ 6.305-84. Оксидирование осуществляли в 20% растворе  $H_2SO_4$  при плотности тока  $1 \text{ A/дм}^2$  в течение 40 минут. Материал катодов – свинец. Для наполнения при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 20 минут использовали дистиллированную воду, а также 0.2 М растворы  $Ni(NO_3)_2$  и  $Cr(NO_3)_3$ . Для получения двойных оксидов-гидроксидов наполненные нитратами Ni и Cr образцы в течение 20 минут подвергали термообработке (ТО) при температуре  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Поляризационные кривые снимали в потенциодинамическом режиме на потенциостате ИРС-Pro М со скоростью развертки  $1 \text{ мВ/с}$  в 0.5 М растворе NaCl. В качестве электрода сравнения использовали хлоридсеребряный, вспомогательный – платиновый.

Поляризационные кривые сплава АД31, а также анодно-оксидных пленок, подвергнутых наполнению и термообработке, представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Поляризационные кривые, снятые в 0.5 М растворе NaCl сплава АД31, а также оксидированного сплава АД31, подвергнутого последующему наполнению и термообработке**

Потенциалы коррозии модифицированных нитратами АОП в 0.5 М растворе NaCl (рисунок 1) лежат в области от  $(-0.3)$  до  $(-0.5) \text{ В}$ .

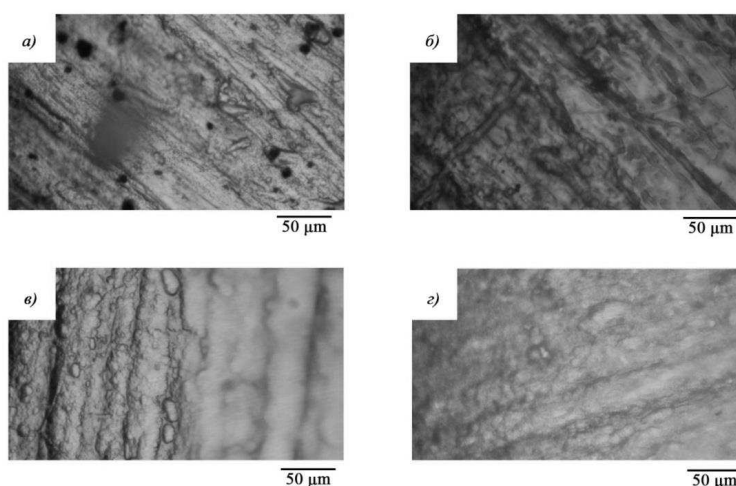
Наполнение в растворе  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  сдвигает поляризационную кривую в электроположительную сторону ( $E_{\text{корр}} = -0,12 \text{ В}$ ), что свидетельствует об увеличении коррозионной стойкости. Коррозионные характеристики, полученные из анализа поляризационных кривых, представлены в таблице.

**Таблица – Коррозионные характеристики сплава АД31 и АОП, полученные в 0,5 М растворе NaCl и защитная способность АОП**

	Наполнение					АД31
	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + \text{ТО}$	$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{ТО}$	$\text{H}_2\text{O}$	
$i_{\text{корр}}, \text{А/см}^2$	$3,23 \cdot 10^{-8}$	$8,06 \cdot 10^{-7}$	$7,74 \cdot 10^{-7}$	$2,28 \cdot 10^{-6}$	$3,56 \cdot 10^{-7}$	$1,54 \cdot 10^{-3}$
$a_a, \text{В}$	0,1124	-0,2777	-0,2076	-0,3121	-0,0826	-0,3829
$b_a, \text{В}$	0,0336	0,0223	0,0316	0,0219	0,0261	0,0175
$a_k, \text{В}$	-0,3595	-0,6025	-0,5584	-0,698	-0,4553	-0,7159
$ b_k , \text{В}$	0,0294	0,0310	0,0258	0,0465	0,0317	0,0517

Установлено, что оксидирование с последующим наполнением во всех исследованных растворах ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ) позволяет сформировать более коррозионностойкое покрытие по сравнению со сплавом АД31, для которого ток коррозии составил  $15,4 \text{ мкА/см}^2$ . Стойкость АОП после термообработки уменьшается, что, вероятно, связано с дегидратацией покрытия. Наименьшие токи коррозии ( $3,23 \cdot 10^{-8} \text{ А/см}^2$ ) в 0.5 М растворе NaCl наблюдаются для не подвергавшихся ТО АОП, наполненных  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ .

Микрофотографии анодно-оксидных покрытий, полученные после наполнения нитратами Ni и Cr в отсутствие и после термической обработки, представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Оптические микрофотографии АОП, наполненных:  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  (а, б),  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  (в, г). Образцы в и г были дополнительно подвергнуты термической обработке в течение 20 мин при  $300 \text{ }^\circ\text{C}$**

Как видно из полученных данных, в процессе анодирования и последующего наполнения АОП на поверхности сплава АД31 формируются плотные равномерные покрытия, при этом вид раствора наполнения влияет на декоративные характеристики поверхности. Наполнение нитратом никеля позволило получить прозрачную пленку зелено-голубого цвета, а последующая термообработка не изменила декоративных характеристик покрытия. При наполнении  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  получались матовые светло-серые АОП, а термообработка изменяла цвет поверхности на желто-зеленый, что свидетельствует о разложении нитрата и образовании  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Таким образом, установлено, что оксидирование сплава алюминия АД31 и последующее наполнение полученных анодно-оксидных пленок нитратами никеля (II) и хрома(III) способствует формированию окрашенных покрытий с повышенными коррозионными свойствами. По своим защитным свойствам анодно-оксидные покрытия, модифицированные солями никеля, более чем в 4 раза превосходят покрытия, наполненные  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ . Проведенные исследования позволяют рекомендовать электролиты на основе солей никеля, предназначенных для наполнения анодно-оксидных покрытий на сплавах алюминия, в качестве альтернативы растворам на основе токсичных и канцерогенных солей хрома(III).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Awad, M. Ahmed Study the corrosion behavior of both first and second anodized aluminum surfaces electrolytically colored by nickel and tin / Ahmed M. Awad , Maha F. Shaffei, Omnia S. Shehata, Howida S. Mandour, Hala S. Hussein // *Surfaces and Interfaces*. – 2016. – V. 1–3. – P. 1–6.
2. Feng, Zhe-Sheng Formation of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{TiO}_2$  composite oxide films on aluminum foil by cathodic electrodeposition and anodizing / Zhe-Sheng Feng, Jin-Ju Chen, Chuan Zhang, Ning Zhao, Zi Liang // *Ceramics International*. – 2012. – V. 38. – P. 2501–2505.
3. Zechner, J. Mechanical properties and interface toughness of metal filled nanoporous anodic aluminum oxide coatings on aluminum / J. Zechner, G. Mohanty, C. Frantz, H. Cebeci, L. Philippe, J. Michler // *Surface & Coatings Technology*. – 2014. – V. 260. – P. 246–250.

УДК 543.554.6

студ. Г.Л. Вериго, Д.А. Марчевский, Е.В.Савчик

Науч. рук. Г.Н. Супиченко

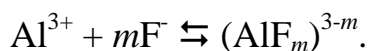
(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

## ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФТОРИДСЕЛЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОДА

В современной аналитической химии используется множество методов определения алюминия, большинство из которых – спектрофотометрические. На кафедре аналитической химии ранее была разработана спектрофотометрическая методика определения микроколичеств алюминия, основанная на образовании окрашенного комплекса с ксиленоловым оранжевым [1].

Наличие фторидселективного электрода в материальной базе кафедры способствовало созданию адаптированной методики потенциометрического определения алюминия.

Известно, что ионы алюминия образуют с фторид-ионами прочные комплексы ( $\lg \beta = 7-20$ ), состав которых может быть неоднозначен.



Прибавляя к растворам алюминия избыточное количество фторид-ионов, получают комплекс с предельным его содержанием, а избыточную концентрацию фторид-ионов можно определить с использованием фторидселективного электрода. При измерении потенциала ( $E$ ), необходимо соблюдать ряд условий: рН растворов, наличие и концентрация фонового электролита, порядок проведения анализа. Условия анализа определяются использованием конкретного фторидселективного электрода (таблица).

**Таблица – Характеристики электродов**

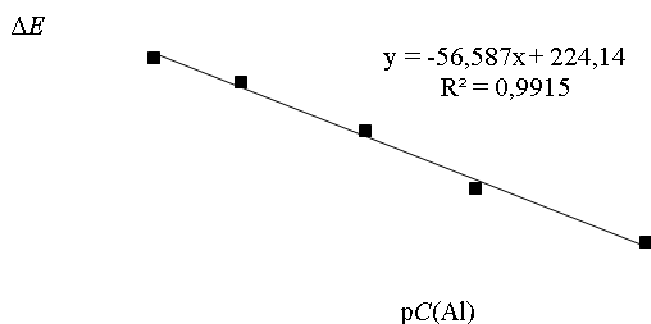
Электрод	Диапазон измерения	Диапазон рН
ЭЛИС-131F	$10^{-5} - 10^{-1}$	4,5 - 8
Элит-221F	$10^{-5} - 10^{-1}$	4,0 - 7,0
СИ-6728	$10^{-6} - 10^{-1}$	5,0 - 11,0
Эком-F	$10^{-6} - 10^{-1}$	5,0 - 8,0

При использовании фторидселективного электрода Эком-F необходимо было подобрать условия проведения измерений. Сущность работы заключалась в следующем. Определение неизвестной концентрации алюминия проводили методом градуировочного графика.

Приготовили стандартные разбавленные растворы  $Al^{3+}$ , затем в мерные колбы добавляли : 5,0 мл раствора NaF (  $C(NaF) = 0,01000$  моль/л), 5,0 мл стандартного разбавленного раствора  $Al^{3+}$ . После протекания реакции в течение 5 минут добавляли 5,0 мл ацетатного буфера. Содержимое колбы доводили до метки раствором  $Na_2SO_4$ . Таким же образом готовили раствор без содержания алюминия.

Затем измеряли потенциалы растворов, содержащих комплексы иона алюминия и избыток ионов фтора, и потенциал раствора, содержащего исходное избыточное количество фторид-ионов. Рассчитывали разность потенциалов растворов, содержащих  $Al^{3+}$ , и без его содержания ( $\Delta E$ ).

По полученным данным строили график зависимости разности потенциалов ( $\Delta E$ ) от  $pC(Al^{3+})$  (рисунок).



**Рисунок – График зависимости разности потенциалов от концентрации**

Таким образом, установлена линейная зависимость  $\Delta E = f(pC(Al^{3+}))$  с коэффициентом множественной корреляции 0,991; полученные экспериментальные данные позволяют вести определение иона алюминия в интервале концентраций  $1,6 \cdot 10^{-3} - 8,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л при  $pH=4,8$  и использовании 0,1 М раствора  $Na_2SO_4$  в качестве фонового электролита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юрьева, И.В. Концентрирование и определение микроколичеств алюминия в продуктах питания / И.В. Юрьева, Е.В. Радион // Труды БГТУ. Сер III. Химия и технология неорганических веществ. – 2002. – Вып. X. – С. 25-34.

УДК 544.6.018.42+14:621.357.74

Магистрант А.А. Касач, студ. Д.Е. Потихонин  
Науч. рук. зав. кафедрой И.И. Курило, проф. И.М. Жарский  
(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

## ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВА МЕДЬ-ОЛОВО В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

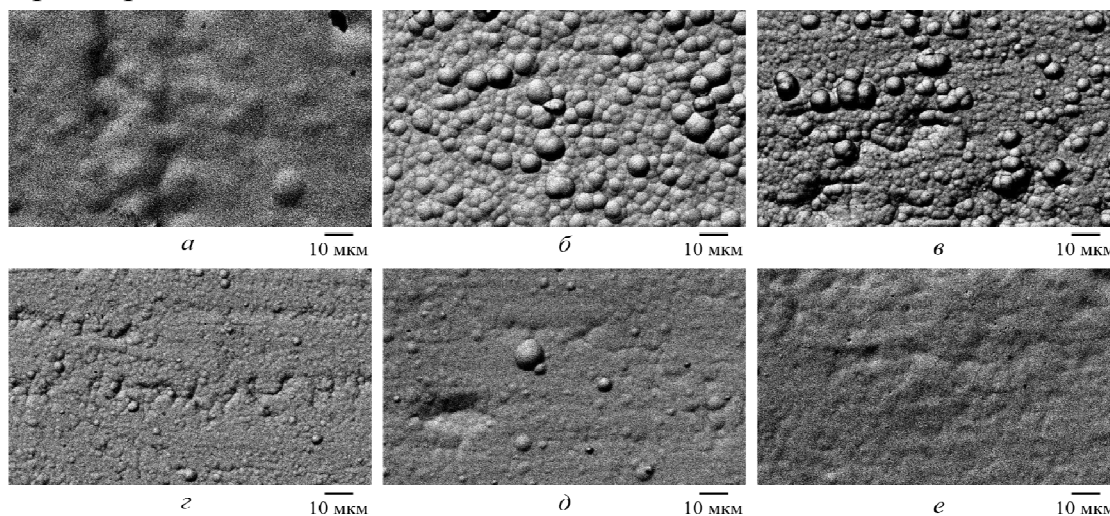
В настоящее время для декоративной отделки изделий различного назначения широко применяют никелевые покрытия, которые достаточно устойчивы к воздействию окружающей среды, растворов щелочей и некоторых кислот. Однако при длительном использовании наружный слой никелевого покрытия подвергается коррозии, продукты которой при контакте с кожей человека могут вызывать развитие дерматитов. Кроме того, растворимые соли никеля являются канцерогенами при вдыхании. По этим причинам использование никеля и его сплавов в европейских странах ограничено и строго регулируется. Привлекательной альтернативой никелевым покрытиям могут служить покрытия сплавами Cu–Sn, которые имеют высокую коррозионную стойкость и твердость.

Для электрохимического осаждения сплава Cu–Sn перспективным является применение низкоконцентрированных щавелевокислых электролитов, отличающихся дешевизной, стабильностью и простотой в эксплуатации. Однако их использование не позволяет проводить электролиз при высоких плотностях тока. Для интенсификации процесса нанесения сплава целесообразно применять нестационарные токовые режимы и наложение ультразвукового (УЗ) поля.

Целью данной работы является изучение процесса электроосаждения сплава медь–олово из щавелевокислого электролита в условиях сонохимической обработки.

На рисунке 1 представлены СЭМ-изображения поверхности покрытий медь–олово, полученных в стационарных условиях и в УЗ поле при различных значениях мощности и величине токовой нагрузки. В отсутствие сонохимической обработки при плотности тока  $0.5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$  на катоде формируются качественные мелкозернистые покрытия с незначительными микротрещинами, наличие которых вызвано повышенными внутренними напряжениями (рис. 2, а). Отсутствие микротрещин на поверхности покрытий, полученных при плотности тока  $0.5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$  в УЗ поле мощностью  $8\text{--}40 \text{ Вт} \cdot \text{дм}^{-2}$  (рис. 1, б, в), объясняется тем, что сонохимическая обработка за счет сильного перемешивания, а также кавитационных явлений облегчает массоперенос компонентов из объема электролита к поверхности

катода, что приводит к уменьшению концентрационного перенапряжения и, как следствие, снижению внутренних напряжений. Кроме того, уменьшение внутренних напряжений может быть вызвано увеличением содержания меди в формируемом сплаве. Детальный анализ микрофотографий показал, что в условиях сонохимической обработки изменяется морфология получаемых покрытий. Так, при мощности УЗ колебаний  $8\text{--}16\text{ Вт}\cdot\text{дм}^{-3}$  и катодной плотности тока  $0.5\text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$  наблюдается рост сферических кристаллов с размером сфер  $5\text{--}10\text{ мкм}$ . Наложение УЗ поля более высокой мощности приводит существенному уменьшению размера формируемых сфер ( $2\text{--}5\text{ мкм}$ ). Рост кристаллов сферической формы, по-видимому, вызван тем, что сонохимическая обработка за счет кавитационных явлений вызывает десорбцию добавки желатины с поверхности электрода. Анализ микрофотогафий показал, что повышение плотности тока от  $0.5$  до  $4.0\text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$  при сонохимической обработке мощностью  $40\text{ Вт}\cdot\text{дм}^{-3}$  способствует уменьшению размеров и количества сферических кристаллов, а также формированию более мелкозернистой структуры покрытия (рисунок 1, *в–е*), что обусловлено увеличением катодного перенапряжения.

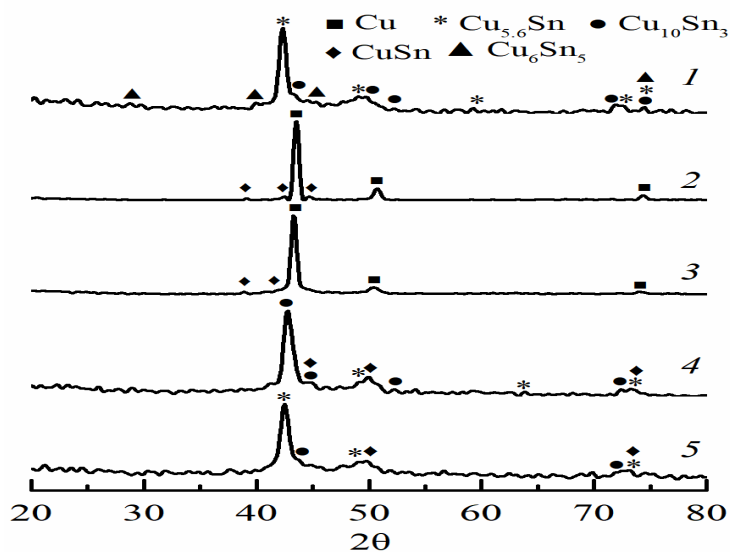


**Рисунок 1 – СЭМ изображения покрытий сплавов Cu–Sn, полученных в отсутствие УЗ обработки (*a*) и при наложении УЗ поля мощностью  $8$  (*б*) и  $40$  (*в–е*)  $\text{Вт}\cdot\text{дм}^{-3}$ .**

**Плотность тока,  $\text{А}\cdot\text{дм}^{-2}$ : *a, б, в* –  $0.5$ ; *г* –  $1$ ; *д* –  $2$ ; *е* –  $4$ .**

Установлено, что в структуре образца, полученного в стационарных условиях (рис. 2, дифрактограмма *1*), присутствуют фазы  $\text{Cu}_{5.6}\text{Sn}$  (JCPDS 31–0487),  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  (JCPDS 45–1488) и  $\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$  (JCPDS 65–3631). Присутствие в составе покрытия нескольких интерметаллидов различного состава, наиболее вероятно, объясняется взаимной диффузией компонентов сплава.





**Рисунок 2 – Дифрактограммы покрытий Cu–Sn, полученных при различных режимах токовой нагрузки и сонохимической обработки**  
**Мощность ультразвуковых колебаний, Вт·дм<sup>-3</sup>: 1 – без наложения УЗ; 2– 8; 3, 4, 5 – 40.**

**Плотность тока, А·дм<sup>-2</sup>: 1, 2, 3 – 0,5; 4 – 1; 5 – 2.**

В условиях сонохимической обработки при мощности УЗ колебаний 16 Вт·дм<sup>-3</sup> и плотности тока 0.5 и 1.0 А·дм<sup>-2</sup> (рис. 2, дифрактограммы 2, 3) в структуре сплавов значительно увеличивается содержание меди, о чем свидетельствует смещение главного пика на дифрактограммах в области 40–45 ° в сторону меньших значений. В составе сплавов, полученных в данных условиях, присутствует фаза чистой меди (JCPDS 01–1242), а также фаза CuSn (JCPDS 06–0621) орторомбической конфигурации. Увеличение плотности тока до 1 А·дм<sup>-2</sup> (рис. 3, дифрактограмма 4) и 2 А·дм<sup>-2</sup> (рис. 2, дифрактограмма 5) при мощности УЗ колебаний 40 Вт·дм<sup>-3</sup> приводит к возрастанию удельного содержания олова в покрытии, что, в свою очередь, объясняет отсутствие пиков фазы чистой меди на дифрактограммах. Основной фазой образца 4 является Cu<sub>10</sub>Sn<sub>3</sub>, а образца 5 – Cu<sub>5,6</sub>Sn. Оба этих покрытия также содержат фазу CuSn. Таким образом, результаты рентгенофазового анализа хорошо согласуются с данными EDX-анализа, который показал уменьшение удельного содержания олова в составе образцов 2 и 3.

Таким образом, проведенные исследования показали, что сонохимическая обработка щавелевокислого электролита в процессе электроосаждения сплава медь–олово при мощности УЗ поля от 8–40 Вт·дм<sup>-3</sup> способствует увеличению скорости процесса в 2–8 раз и снижению на 30% удельного содержания олова в покрытии, по сравнению со сплавом, полученном в стационарных условиях.

УДК 621.357.12+544.57

Магистрант А.А. Касач, студ. С.К. Клементович  
Науч. рук. зав. кафедрой И.И. Курило, проф. И.М. Жарский  
(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

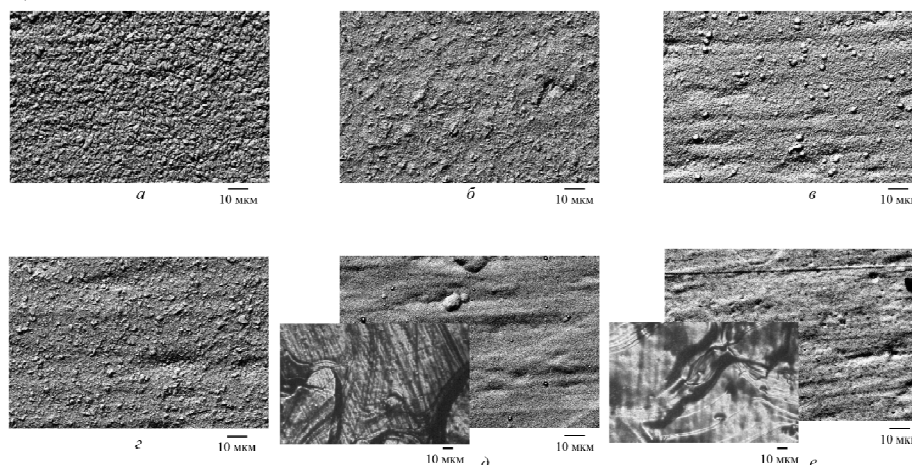
## **ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ**

Уверенные темпы роста производства электронной аппаратуры и, соответственно, потребления печатных плат обуславливают необходимость изыскания новых и совершенствования существующих технологических процессов. В производстве печатных плат для формирования токоведущего слоя используют гальваническое (электролитическое) меднение, которое определяет основные эксплуатационные свойства изделий. Несмотря на то, что процесс гальваномеднения уже давно успешно применяется в промышленности, до настоящего времени весьма актуальным остается вопрос об изыскании путей его интенсификации. Известно, что одним из наиболее перспективных способов интенсификации электрохимических реакций являются использование нестационарных токовых режимов и наложение ультразвукового (УЗ) поля [1].

Целью работы являлось исследование сонохимического воздействия на кинетические особенности процесса электрохимического осаждения меди из сернокислого электролита, а также структурно-морфологические и физико-механические свойства формируемых покрытий.

Микроскопические исследования полученных покрытий представлены на рис. 1. Из анализа поверхности образцов, полученных из сернокислого электролита без добавки тиомочевины, видно, что использование УЗ колебаний при электроосаждении меди не оказывает существенного влияния на морфологию формируемых покрытий. Введение в рабочий раствор тиомочевины способствует получению более мелкокристаллических осадков (рис. 1, а, в, г, е). При одинаковом составе электролита и токовой нагрузке, наложение УЗ колебаний позволяет уменьшить размер зерен формируемых покрытий (рис. 1, а, в). При этом увеличение катодной плотности способствует росту более крупных кристаллов меди (рис. 1, в, г). Также установлено, что увеличение содержания тиомочевины в электролите приводит к существенному уменьшению размеров формируемых кристаллов (рис. 1, в, д, е), и ухудшению распределения меди на макропрофиле поверхности образцов (вставка рис. 1, д, е).

Последнее можно объяснить неравномерным разрушением под действием УЗ образующейся в процессе электролиза пленки сульфида меди(II).



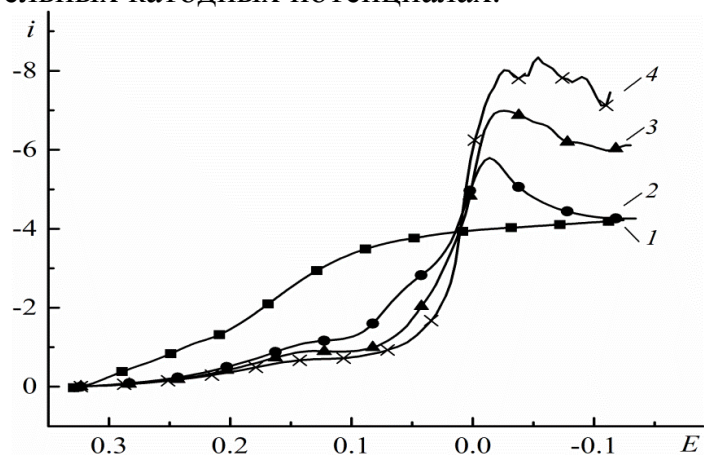
**Рисунок 1 – СЭМ изображения медных покрытий, полученных при катодной плотности тока 2 (а–в, д, е) и 3 (з)  $\text{А}\cdot\text{дм}^{-2}$  в отсутствие УЗ обработки (а) и при наложении УЗ поля мощность  $8 \text{ Вт}\cdot\text{дм}^{-3}$  (б–е).**

**Содержание тиомочевины,  $\text{г}\cdot\text{дм}^{-3}$ : б – 0; а, в, з – 0.003; д – 0.010; е – 0.020.**

Проведенные исследования позволили оптимизировать состав электролита и режимы электрохимического нанесения медных осадков. Наиболее качественные покрытия были получены в УЗ поле мощностью  $8 \text{ Вт}\cdot\text{дм}^{-3}$  из сернокислого электролита, содержащего  $0.003 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$  добавки тиомочевины, при плотности тока  $2 \text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$ .

Поляризационные исследования процесса катодного восстановления меди в сернокислом электролите, содержащем добавку тиомочевины в количестве  $0.003 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ , в отсутствии сонохимической обработки и при воздействии УЗ поля объемной мощностью  $4\text{--}8 \text{ Вт}\cdot\text{дм}^{-3}$ , представлены на рис. 2. Как видно из полученных зависимостей, в присутствии добавки наблюдается смещение катодных поляризационных кривых в область отрицательных значений потенциалов. Максимальный сдвиг потенциала (более 100 мВ) наблюдается при плотности тока  $2 \text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$ . В отличие от электролита, не содержащего тиомочевины, в исследуемом электролите наложение УЗ поля способствует увеличению как поляризации, так и поляризуемости катода, тем самым увеличивая выравнивающую способность электролита. С увеличением мощности УЗ колебаний наблюдается увеличение поляризуемости катода (рисунок 2, кривые 3, 4), что способствует

получению качественных медных покрытий при более электроотрицательных катодных потенциалах.



**Рисунок 2 – Катодные поляризационные кривые восстановления меди из сернокислого электролита меднения без добавок(1) и дополнительно содержащего 0.003 г·дм<sup>-3</sup> тиомочевины (2–4).**

**Мощность ультразвуковых колебаний, Вт·дм<sup>-3</sup>: 1, 2 – 0 (без наложения УЗ); 3 – 4; 4 – 8.**

**$E$  — потенциал (В),  $i$  — плотность тока (А·дм<sup>-2</sup>)**

Данные поляризационных исследований хорошо согласуются с результатами определения рассеивающей способности (РС), электролита по металлу. Предварительные исследования показали, что в отсутствие сонохимической обработки РС электролита без добавок и электролита, содержащего 0.003 г·дм<sup>-3</sup> тиомочевины, составила 20 и 39 % соответственно, что обусловлено более высокой поляризуемостью катода. При увеличении мощности УЗ колебаний РС электролита меняется немонотонно: в диапазоне 0–4 Вт·дм<sup>-3</sup> практически не изменяется, а при мощности УЗ 4–8 Вт·дм<sup>-3</sup> наблюдается ее резкий рост с максимумом 50 % при 8 Вт·дм<sup>-3</sup>. Дальнейшее снижение РС объясняется уменьшением катодной поляризуемости, обусловленным разрушением медно-тиомочевинных комплексов в условиях кавитации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Касач, А.А. Сонохимическое электроосаждение медных покрытий / А.А. Касач, И.И. Курило, Д.С. Харитонов, С.Л. Радченко, И.М. Жарский // Журнал прикладной химии – 2018 – Т.91 – №. 2 – С.192–198.

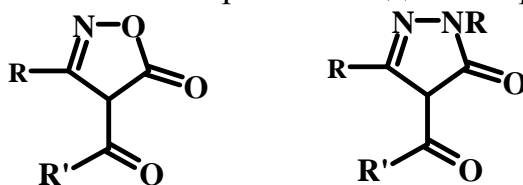
УДК 547.77

Студ. В.И. Кручик, вып. Д.С. Дорошук  
 Науч. рук. доц. В.Н. Ковганко  
 (кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

### 1,3-ДИАРИЛПИРАЗОЛОНЫ – КЛЮЧЕВЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ВЕЩЕСТВА В СИНТЕЗЕ ЭКСТРАГЕНТОВ РЯДА ПИРАЗОЛОНОВ

На протяжении последних нескольких лет на кафедре физической, коллоидной и аналитической химии БГТУ проводятся исследования по получению новых экстрагентов ряда 4-ацилизоксазолонов **I** и 4-ацилпиразолонов **II**.

Замещенные 4-ацилизоксазолоны и 4-ацилпиразолоны в своей структуре имеют 1,3-дикетонную группу и поэтому способны образовывать устойчивые хелатные комплексы с различными металлами. Это свойство позволяет использовать соединения данных рядов в качестве аналитических реагентов для экстракции [1].

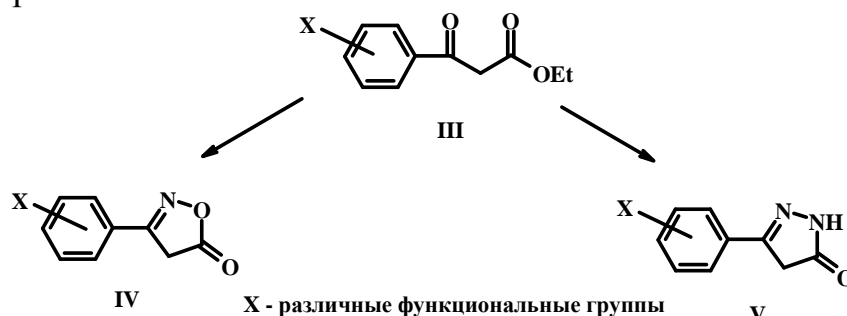
**I****II****R, R'**- арил, алкил

Ключевыми промежуточными веществами при получении замещенных изоксазолонов и пиразолонов являются 3-кетозэфиры. При этом, не смотря на достаточно большое число исследований, посвященных изучению свойств 4-ацилизоксазолонов и 4-ацилпиразолонов, для их синтеза чаще всего используют простейшие коммерчески доступные 3-кетозэфиры – ацетоуксусный эфир и бензоилуксусный эфир. Изменение свойств в исследованных изоксазолонах и пиразолонах чаще всего достигается за счет изменения типа 4-ацильного заместителя.

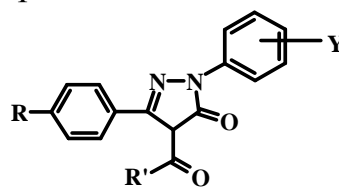
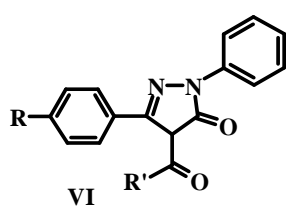
В основе нашего исследования лежит предположение о том, что расширение возможностей практического применения 4-ацил-изоксазолонов и 4-ацилпиразолонов для экстракции может быть достигнуто за счет использования для синтеза этих веществ замещенных 3-кетозэфиров. Для реализации данного предположения наибольший интерес представляют 3-арил-3-кетозэфиры, которые могут содержать различные заместители в арильном фрагменте молекулы. Полярные заместители в арильном фрагменте молекул за счет сопряжения могут оказывать существенное влияние на

устойчивость енольной формы 4-ацелизоксазолонов и 4-ацилпиразолонов. Это скажется на устойчивости хелатов, а, следовательно, и на экстрагирующей способности. Введение неполярных алкильных или алкоксильных заместителей с большой долей вероятности понизит растворимость хелатов в воде за счет увеличения гидрофобности молекул в целом.

В последнее время в БГТУ разработаны методы синтеза замещенных 3-арил-3-кетоефиров **III**. Эти соединения использованы для получения новых экстрагентов ряда 4-ацил-3-арилизоксазолонов и 4-ацил-3-арилпиразолонов, содержащих различные заместители в 3-ариле фрагменте. При этом в качестве промежуточных веществ получено достаточно большое количество 3-арилизоксазолонов **IV** и 3-арилпиразолонов **V**.



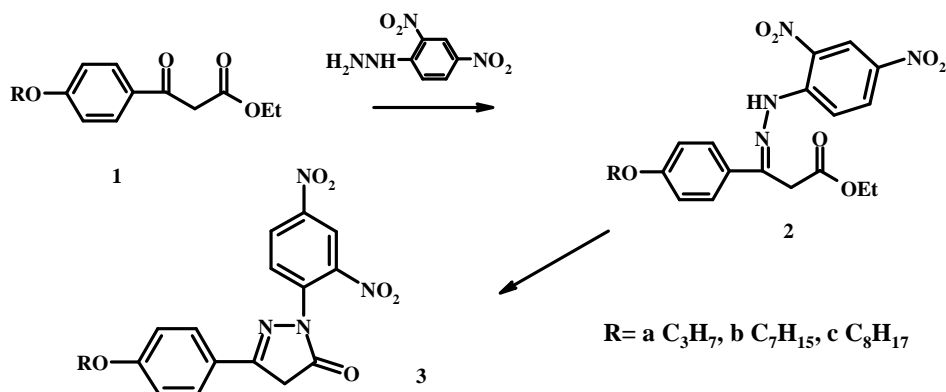
Дополнительное улучшение экстрагирующей способности 4-ацилпиразолонов может быть достигнуто за счет модификации заместителя при атоме азота. В настоящее время известны экстрагенты, содержащие незамещенный фенильный радикал **VI**, а также ароматические циклы с электронодонорными заместителями **VII**.



VII Y - Электронодонорные группы

VIII Y - Электроноакцепторные группы

Целью нашей работы является получение соединений **VIII**, содержащих в арильном фрагменте у атома азота электроноакцепторные заместители. В настоящее время получены ключевые промежуточные вещества для получения целевых ацилпиразолонов. Их синтез представлен на схеме. Замещенные кетоефиры **1a-c** вводили в реакцию с 2,4-динитрофенилгидразином. Полученные гидразоны **2a-c** далее подвергали внутримолекулярной циклизации под действием метилата натрия. При этом получались соответствующие пиразолоны **3a-c**.



Особенность данной схемы в том, что стадию внутримолекулярной циклизации проводили отдельно. Обычно циклизация протекает быстро уже в условиях первой стадии синтеза. Это связано с тем, что нитрогруппы понижают основность атома азота гидразина. В качестве примера можно привести методику синтеза 1-(2,4-динитрофенил)-3-(4-гептилоксифенил)-пиразол-5-она **3b**. К раствору 0.498 г (1.024 ммоль) гидразона **2b** в смеси 25 мл метанола и 5 мл толуола прибавили раствор метилата натрия, полученный растворением 0.072 г натрия в 10 мл метанола. Реакционную смесь выдерживали при комнатной температуре 40 минут. Затем добавили 1 мл уксусной кислоты. Выпавшие после охлаждения кристаллы отфильтровали, промыли смесью метанола и толуола. Получено 0.345 г пиразолона **3b**. Выход 85%. Аналитический образец получен после дополнительной перекристаллизации из смеси 2-пропанола с толуолом (3:1). Температуры фазовых переходов: *Cr* 81 *SmC* 130 *SmA* 136 *N* 151 *I*.

Таким образом, в результате проведенного исследования разработан метод синтеза новых 1,3-диарил-5-пиразолонов, содержащих нитрогруппы в арильном фрагменте молекул. Эти соединения, по нашему мнению, могут служить ценными полупродуктами для получения новых эффективных экстрагентов ряда 4-ацилпиразолонов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Arichi, J. Solvent extraction of europium(III) from nitrate medium with 4-acyl-isoxazol-5-ones and 4-acyl-5-hydroxy-pyrazoles. Effect of salts and diluents. / J. Arichi, G. Goetz-Grandmont, J.P. Brunette // *Hydrometallurgy*. – 2006. – Vol. 82. – P. 100–109.

2. Ковганко, В.Н. Синтез новых мезогенных веществ ряда 3-арил-изоксазолонов и 3-арил-пиразолонов. / В.Н. Ковганко, Н.Н. Ковганко, М.А. Половков // *Жур. орг. хим.* – 2010. – Т. 46, №. 12. – С. 1803–1807.

УДК 620.193.25

Студ. М.А. Осипенко

Науч. рук. зав. кафедрой И.И. Курило; асс. И.В. Макарова  
(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

## **СОНОХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПЕРМАНГАНАТОМ КАЛИЯ НАНОДИРОВАННОГО СПЛАВА АЛЮМИНИЯ АД31**

Распространенными промышленными методами увеличения коррозионной стойкости, твердости, износостойкости алюминия и его сплавов является электрохимическое анодирование. Наиболее широкое распространение получил универсальный электролит анодирования на основе раствора 15–20%-ной серной кислоты при плотностях тока 2,5–15 А/дм<sup>2</sup> с последующей дополнительной обработкой – гидротермическим наполнением. В результате образуется плотное «запирающее» поры покрытие, которое является достаточно устойчивым к воздействию окружающей среды [1]. Процесс уплотнения, как правило, проводят при температуре 99–100 °С, что требует значительных затрат электроэнергии. Это обуславливает актуальность исследований по разработке способов уплотнения анодно-оксидных покрытий (АОП) на алюминии, реализуемых при комнатных температурах.

Целью данной работы является изучение влияния ультразвуковой (УЗ) обработки в процессе наполнения перманганат-ионами анодно-оксидных пленок на сплаве алюминия АД31 на антикоррозионные свойства формируемых при комнатных температурах покрытий.

Объектом исследования в данной работе является медьсодержащий сплав алюминия марки АД31, который широко применяется на предприятиях Республики Беларусь для изготовления радиаторов, теплообменников, элементов кондиционирования воздуха, строительных, архитектурных и бытовых изделий. Номинальный состав сплава по ГОСТ 4784–97, %: Si – (0,20–0,60); Fe – 0,50; Cu – 0,10; Mn – 0,10; Mg – (0,45–0,90); Zn – 0,20; Ti – 0,15; Al – баланс. В исследованиях использовали предварительно подготовленные образцы круглой формы диаметром 40 мм и толщиной 1 мм. Образцы перед анодированием предварительно проходили механическую шлифовку и подготовку согласно ГОСТ 9.402–2004.

Для получения АОП использовали электролит, содержащий 2 моль/дм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Анодирование проводили в течение 40 мин при плотности тока 1 А/дм<sup>2</sup> и температуре 25 ± 1 °С. Материал катодов – свинец. Последующее уплотнение АОП проводили при температуре 25 ± 1 °С в 0,27 М KMnO<sub>4</sub> (pH=3). Время наполнения варьировали от 5

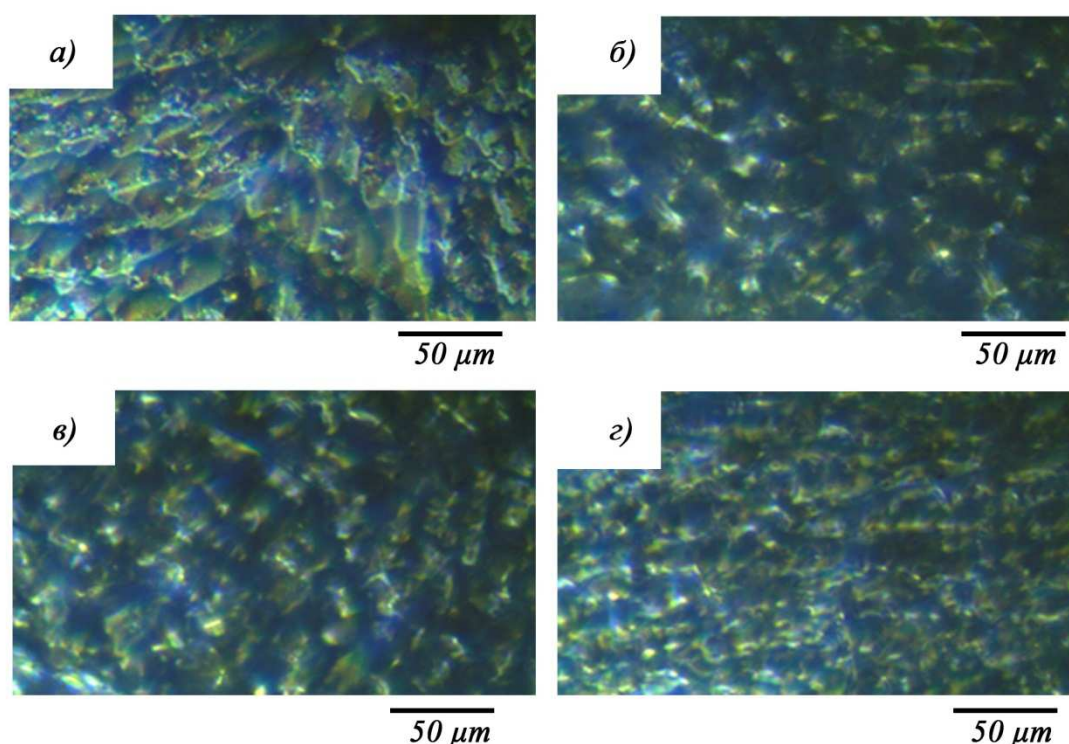


до 20 мин. Для интенсификации процесса уплотнения использовали УЗ обработку при мощности 40 Вт/дм<sup>3</sup> и частоте 26 кГц.

Коррозионные исследования проводили в 0.5 М растворе NaCl методом снятия потенциостатических поляризационных кривых.

Для определения защитной способности использовали метод капли согласно ГОСТ 9.302–88.

Микрофотографии образцов сплава АД31, полученные после уплотнения, представлены на рисунке 1.

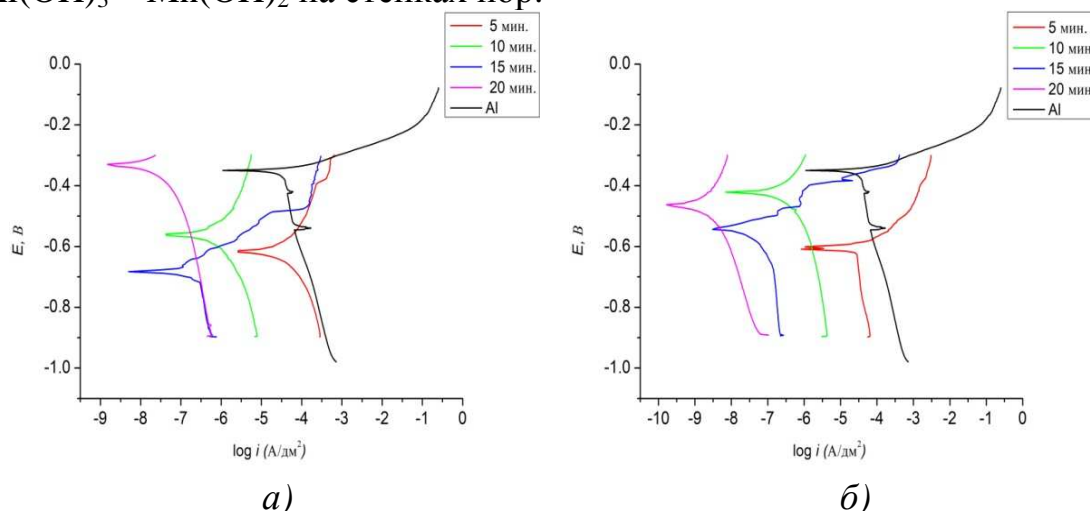


**Рисунок 1 – Микрофотографии АОП, модифицированных перманганат-ионами в стационарных условиях (а, в) и в УЗ (в, д) поле в течение 5 (а, в) и 20 (б, д) мин**

При уплотнении в стационарных условиях в течение 5 мин наблюдается незначительное подтравливание основы, а в течение 20 мин – неполное заполнение пор в оксидной матрице (рисунок 1 а, в). Сонохимическая обработка раствора уплотнения в течение 5 мин приводит к частичному неравномерному заполнению пор, а увеличение времени обработки до 20 мин позволяет получать плотные АОП с равномерно заполненными порами (рисунок 1 б, д).

Как видно из представленных данных (рисунок 2), уплотнение в УЗ поле способствует уменьшению токов коррозии, что связано с интенсификацией процесса диффузии перманганат-ионов в оксидную

матрицу и, вероятно, образованием двойных гидроксидных покрытий  $\text{Al}(\text{OH})_3 - \text{Mn}(\text{OH})_2$  на стенках пор.



**Рисунок 2 – Поляризационные кривые в 0.5 М NaCl сплава АДЗ1 и АОП, модифицированных перманганат-ионами в стационарных условиях (а) и в УЗ поле (б) и в течение 5–20 мин**

Значения токов коррозии, полученные из анализа поляризационных кривых модифицированных АОП на сплаве АДЗ1, в зависимости от времени и способа уплотнения представлены в таблице 1. Как видно из представленных данных, увеличение времени уплотнения в УЗ поле приводит к уменьшению токов коррозии примерно на порядок, что объясняется увеличением степени заполняемости пор и формированием плотной, равномерной структуры модифицированного АОП. Результаты определения защитной способности сформированных АОП методом капли представлены в таблице 2.

**Таблица 1 – Электрохимические параметры АОП на сплаве АДЗ1 в 0.5 М растворе NaCl**

	$ b_k , В$	$a_k, В$	$b_a, В$	$a_a, В$	$i_{корр}, A/cm^2$
NaCl 0,5 М	0,0089	-0,4	0,0065	-0,3127	$2,14 \cdot 10^{-6}$
5 мин	0,0372	-0,8174	0,0333	-0,4362	$3,92 \cdot 10^{-6}$
5 мин + УЗ	0,0126	-0,6835	0,0133	-0,5271	$9,15 \cdot 10^{-7}$
10 мин	0,0372	-0,8125	0,0429	-0,2649	$1,46 \cdot 10^{-7}$
10 мин + УЗ	0,0275	-0,6341	0,0247	-0,229	$1,74 \cdot 10^{-8}$
15 мин	0,0255	-0,884	0,0222	-0,5046	$1,11 \cdot 10^{-8}$
15 мин + УЗ	0,0396	-0,87	0,0264	-0,3183	$4,37 \cdot 10^{-9}$
20 мин	0,0378	-0,6525	0,0261	-0,1059	$2,79 \cdot 10^{-9}$
20 мин + УЗ	0,0394	-0,8241	0,0441	-0,043	$4,42 \cdot 10^{-10}$

**Таблица 2 – Защитная способность АОП на сплаве АД31**

Время наполнения, мин	Время окрашивания в зеленый цвет, мин	
	Без ультразвука	С ультразвуком
5	3	9
10	16	38
15	27	46
20	35	65

Для установления диэлектрических свойств полученных анодно-оксидных пленок определяли пробивное напряжение. Для АОП, сформированных в течение 5 и 10 мин, пробивное напряжение составляет в стационарных условиях 125 и 190 В, а в УЗ поле – 210 и 240 В соответственно. Увеличение времени обработки до 20 мин приводит к увеличению диэлектрических свойств пленок, при этом значения пробивного напряжения превышают 250 В.

Таким образом, проведенные исследования показали, что сонохимическая обработка в процессе наполнения перманганат-ионами АОП на сплаве алюминия АД31, приводит к формированию мелкопористых пленок с повышенными диэлектрическими свойствами, что способствует уменьшению токов коррозии в  $\approx 10$  раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов, Е. Е. Справочник по анодированию / Е. Е. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1988. – 224 с.

УДК 316.354.2

Студ. К. А. Сасновская

Науч. рук. доц., к.ф.н. П. М. Бурак

(кафедра философии и права, БГТУ)

#### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ**

#### **ПОЛИТИКИ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В ЯПОНИИ, США И ГЕРМАНИИ**

**Введение.** Серьезные реформы производства стали одной из причин трансформации отношения к подчиненным. Раньше упор делался на техническое обеспечение, а работник рассматривался лишь как приложение к нему. На сегодняшний день ситуация изменилась – человек распоряжается техникой, а та ему помогает. Поэтому произошло совершенствование методов управления персоналом в организации. Акценты в этом вопросе всё больше переносятся на человеческий фактор. Были разработаны новые, актуальные принципы и методы управления персоналом.

Цель исследования состоит в том, чтобы провести сравнительный анализ политики управления человеческими ресурсами в Японии, США, Германии и выявить положительные и отрицательные стороны зарубежного варианта управления персоналом.

### Сравнительная характеристика моделей менеджмента

Германия	США	Япония
Стабильные отношения между менеджерами и их подчиненными – залог успеха.	Замена руководства сопровождается сменой работников	Со сменой руководства философия фирмы не меняется. Система «пожизненного найма» сохраняет кадры
Сфера ответственности и компетенции строго распределены между сотрудниками в зависимости от занимаемых позиций	Преобладает индивидуальная ответственность	Преобладает коллективная ответственность
Приказы отдаются сверху вниз и не подлежат обсуждению	Жесткая структура управления	Гибкая структура управления
Иерархичность	Индивидуальный контроль	Коллективный контроль
Ориентированность на качество	Ориентация управления на личность	Ориентация управления на группу
Оценка внешних воздействий, интеграции основной деятельности с побочными явлениями	Оценка управления по индивидуальному результату	Оценка управления по достижению гармонии в коллективе
Решающую роль играет профессионализм и дисциплина.	Карьера находится в зависимости от личных результатов	Продвижение по службе по возрасту и стажу работы
Подготовка менеджеров ведется непрерывно.	Наем на короткий период	Долгосрочная занятость

Таким образом, все многочисленные приёмы, которые активно внедряются на японских фирмах, тесно сопряжены с социальными нормами поведения, усвоенными японцами за свою многовековую историю. «Согласно японской морали, основа взаимоотношений людей – взаимная зависимость. Японская система управления сформировалась как органический сплав национальных традиций и передового опыта менеджмента...» [1]. Самая важная задача японского менеджера состоит в том, чтобы установить нормальные отношения с работниками, создать отношение к корпорации как к родной семье, сформировать понимание того, что у рабочих и менеджеров одна судьба. Японский менеджмент имеет ряд

особенностей, отражающих его гибкость. Такими особенностями являются: гарантия занятости; гласность и ценность корпорации; управление, основанное на информации и на качестве; высокоразвитая система подготовки кадров; специфическая система принятия решений; эффективная система стимулирования персонала.

Американский менеджмент характеризуется жесткой организацией управления. Для него в наибольшей степени характерно стремление к формализации управленческих отношений. Для американского менеджмента также очень характерно представление о персональной ответственности работника. Так американский менеджмент является негибким, строго формализованным.

Немецкая (или германская) модель управления очень схожа с японской, поэтому иногда ее называют японо-германской. Однако определенные различия между ними все-таки есть. Профессиональная подготовка является в Германии чрезвычайно важной. Особое внимание уделяется техническому и инженерному обучению, которое считается одним из лучших в Европе. Рабочие и специалисты в Германии постоянно сталкиваются с новыми технологиями, адаптация к которым необходима для дальнейшей успешной работы, поэтому стимулирование профессионального роста сотрудников играет огромную роль. Если есть желание и знания – будет и результат.

Немецкая модель управления является достаточно эффективной, хотя, как и любая система, имеет свои недостатки. Немецкая управленческая модель базируется на ответственности, квалифицированности и самостоятельности. Стоит признать, что полностью перенять стиль менеджмента, свойственный Германии, как и любой другой стране, практически невозможно, ведь он складывался долгими годами и подстраивался под определенную культуру, традиции и экономические возможности страны. Но, как уже было сказано, вполне осуществимо использование некоторых элементов немецкого менеджмента в своей стране и своей компании. И было бы отлично, если бы это позволило достигнуть таких же высоких результатов, как и у «мировых звезд Германии».

На основе сравнения зарубежного опыта сделаны следующие выводы: необходимо эффективное формирование и использование кадрового потенциала на основе управления всеми компонентами человеческого фактора: от трудовой подготовки и профориентации молодежи до заботы о ветеранах труда; широкое внедрение активных методов поиска и целенаправленной подготовки нужных для предприятия и отрасли работников; следует планомерно работать с руководящими кадрами, с резервом для выдвижения на основе таких

организационных форм, как планирование деловой карьеры, подготовка кандидатов на выдвижение по индивидуальным планам, ротационные передвижения руководителей и специалистов, обучение на специальных курсах и стажировка на соответствующих должностях.

Продуктивность деятельности компании зависит от специалистов. Без людей нет организаций. Крупные, средние и малые фирмы ясно осознают: для того, чтобы развиваться, преуспевать, сохранять здоровье людей и стабильность коллектива, они должны оптимизировать отдачу от вложений любых ресурсов, будь то ресурсы финансовые, материальные или человеческие. Итак, грамотная, профессионально организованная работа с персоналом является важнейшей основой экономической эффективности работы фирмы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Володина, А. С. Сравнительная характеристика японского, американского и европейского менеджмента // Молодой ученый. — 2010. — №1-2. Т. 1. — С. 173-180.

УДК 316.346.2-055.2

Студ. В. И. Валькова

Науч. рук. ст. преп. М. В. Подручный  
(кафедра философии и права БГТУ)

#### **САМОДЕТЕРМИНАЦИЯ И ПОЗИТИВНАЯ СВОБОДА (ИЛЛЮЗИИ И РЕАЛИИ ЛИЧНОЙ СВОБОДЫ)**

**Введение.** Русское слово «свобода» известно с древнерусской эпохи и было широкоупотребительным еще до возникновения письменности (в VIII–X вв.). Понятие о свободе изначально связывалось с принадлежностью к своему роду, племени. Древнерусское слово *свободь* соотносится с древнеиндийским *svarati* (сам себе господин: «svo» — свой и «poti» — господин).

Проблема свободы принадлежала философии изначально, однако с начала 40-х гг. нашего столетия она стала входить и в поле зрения психологии. В работах философов-экзистенциалистов, в первую очередь Ж.-П. Сартра и А. Камю, философское рассмотрение свободы уже было во многом психологизировано. Проблема свободы или самодетерминации личности получила наиболее полное раскрытие в 60-е – 80-е гг XX века начиная с классической книги Эр. Фромма «Бегство от свободы», а также в работах В. Франкла, Р. Мэя и др. Тем не менее, на сегодняшний день психология все еще находится

на начальной стадии изучения самодетерминации, тогда как философия, как свободный тип мышления, с момента своего возникновения стала доказательством права человека на свободу. В психологии в центре внимания находится собственно человек, с его личным восприятием и осознанием свободы, как степени ответственности, определяющей и ограничивающей его действия, поведение в обществе и отношениях с другими людьми. В философии же ставится вопрос о существовании свободы в принципе, о её определении и природе.

**Основная часть.** Всем, кто касался вопроса о свободе, приходилось учитывать сложность дефиниции понятия, его субъективный характер. Для большинства людей свобода является, в первую очередь, психологической проблемой. Психолог П. В. Симонов объявляет свободу иллюзией, возникающей благодаря тому, что мы не осознаем полностью всех влияющих на нас детерминант (ограничителей). Само собой разумеется, что существо, имеющее форму, массу, структуру и прочие характеристики ограничено физически. Условия реализации его свободы подчинены законам его природы. Люди рождаются равными, но, в то же время, разными, их физические и психические данные рознятся. Поведение человека, называющего или считающего себя свободным, определено его генетическими данными, особенностями организма, воспитанием, менталитетом, традициями его предков, обычаями народа, его финансовым положением, негласными, а часто и неосознаваемыми, правилами, действующими в его мире. Не говоря уже об этических нормах и об общественных официально принятых законах, человек каждое мгновение своей жизни подчиняется множеству постановлений. Ф. Ницше был убежден, что «мы находимся в тюрьме; мы можем только свободно мечтать, но не действовать» [1].

Все установления мира, приобретаемые новым существом при рождении, являются для него «связями», реакциями ограничителей его свободы. А. Камю говорил: «Как бы мы ни отгораживались от всех моральных и социальных предрассудков, частично мы все же находимся под их влиянием и даже сообразуем свою жизнь с лучшими из них... человек приходит к пониманию, что реально он не свободен» [2]. Мощными ограничителями становятся наши чувства и эмоции. «Внутренняя потребность гораздо более действенна для мобилизации всех сил человека, нежели какое-либо внешнее давление. Совесть правит не менее сурово, чем внешняя власть. Своей суровостью совесть может и превзойти внешнюю власть: ведь человек ощущает ее приказы как свои собственные. Как же ему восстать

против себя самого?» - подчеркивал Эр. Фромм [3]. Более того, взаимодействие эмоциональных и поведенческих механизмов с успехом используется при кодировании, месмеризации и различных видах манипуляции сознанием человека. Нельзя отрицать, что собственный рассудок в еще большей степени ограничивает нас. Человек если и имеет видимость внешней свободы, то находится в плену условностей, обычаев, нравственных преград.

Рассуждая таким образом, можно коснуться идеи детерминизма. Детерминизм — учение о взаимосвязи всех явлений и процессов, о всеобщей причинности, согласно которому, все происходящее с человеком и все его действия predetermined. Рассмотрим две позиции: строгий детерминизм, в котором отрицается свобода воли, и полукompatibilizm, сочетающий утверждение predeterminedности действий человека и существование моральной ответственности. С точки зрения строгого детерминизма, гений Баха не чудо, и не случайность. От поколения к поколению передавались навыки, мастерство, крепили творческие силы. Само имя Бах было синонимом музыканта. Иоганн Себастьян, не имея никакой специальности, кроме профессии органиста, полученной по традиции, был вынужден, а не свободен, стать композитором, сочинять музыку по долгу службы и явить миру ту концентрацию таланта и мастерства, которая столетиями копилась в крови его предков. Более печальный для потомков вариант - если бы Иоганн работал вполсилы и не выходил за рамки церковных канонов, спокойно провел всю жизнь в Лüneбурге и умер, не оставив после себя значительного музыкального наследия, просто невероятен, если учесть характер и особенности темперамента этого человека, опять же, определенные генетически, а также влиянием окружения и действием полученного воспитания. В этом роду талантливых музыкантов (в фамильной хронике Бахов насчитывается более 50 лиц, оказавших влияние на развитие немецкой музыки) Иоганн Себастьян, как феномен, появился бы.

Рассматривая свободу с позиции полукompatibilizma, следует признать, что освобождение внешнее, физическое, наделение человека властью и полномочиями должно сопровождаться соответствующим усилением внутреннего самоограничения, во имя сохранения баланса воздействий, оказываемых с той и другой стороны на сознание. Человек, в большинстве случаев еще недостаточно созрел, чтобы быть независимым, разумным, объективным. Так самовосприятие человека, обладающего несоразмерной со своими моральными качествами свободой и властью, искажается, его сознание деформируется из-за неравномерного воздействия внешних и внутренних факторов. Это



происходит в том случае, когда ситуация требует от человека такого уровня эмоционального интеллекта, какого у него нет. Тогда человеку ничего не остается, как избавиться от свободы, оказавшейся чрезмерной для него. «Абсолютная свобода – абсолютная ответственность» [4]. Э. Фромм определяет два возможных выхода из подобного состояния. Один путь ведет к "позитивной" свободе, он состоит в том, чтобы связать себя с миром через подлинное проявление своих чувственных, интеллектуальных и эмоциональных способностей, обрести единство с людьми, с миром и с самим собой, не отказываясь при этом от независимости и целостности своего собственного "я". В этом суть конструктивного понимания свободы по Фромму. Второй путь - отказ человека от свободы в попытке преодолеть свое одиночество, устранив разрыв, возникший между его личностью и окружающим миром, бегство из невыносимой ситуации.

Не следует забывать, что технический прогресс также можно принять за новый уровень свободы. Растерянность в море информации порождает чувство изоляции, одиночества и отчужденности. Информационное общество - это тот идеал, когда мы будем знать все и перестанем понимать что бы то ни было. Будет полный доступ ко всему, никаких закрытых тем, но полное непонимание самых простых вещей.

**Заключение.** Мы живем в мире, в котором, не считая полученного при рождении начального количества, свобода отпускается нам в мизерных долях, со всех сторон сжатая предопределенностью наших возможных выборов и потому воздействие ее на человеческую судьбу происходит медленно. Тем не менее, каждое мгновение своей жизни человек все же совершает действия, по сути, становящиеся выбором, пусть не полностью свободным, пусть даже в нем будет заключен лишь 1% свободы, но медленно и верно, посредством длинной цепи направленных микровыборов, человек сможет достичь своей цели, как если бы не существовало никаких ограничений. Свобода, которая несоразмерна готовности к ней, разрушительна для человека, она ведет к развращению его желаний, отчуждению от реальности и заставляет его прибегать к различным механизмам бегства от нее, а фактически – от самого себя. Можно заключить, что задача каждого человека – наиболее полно реализовать свои внутренние уникальные склонности, используя доступную степень самодетерминации, раскрыть свой потенциал и развить свою личность, достигая таким образом позитивной свободы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ницше, Ф. В. Смешанные мнения и изречения. М.: Эксмо-Пресс, 2015. – С. 26, 107-109.
2. Камю, А. Миф о Сизифе. М.: АСТ, 2014. – С. 23.
3. Фромм, Э. Бегство от свободы. М.: Республика, 1992 – С. 121.
4. Сартр, Ж.- П. Бытие и ничто. Опыт феноменологической онтологии. М: Республика, 2000 – С. 12 – 13.

УДК 316.354:351/354

Студ. Г. Ю. Гайдук

Науч. рук. ст. преп. М. В. Подручный

(кафедра философии и права, БГТУ)

### **«РЕВОЛЮЦИЯ МЕНЕДЖЕРОВ»: СОЦИАЛЬНО-ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ**

Понятие «управление» – это всеобъемлющее понятие, включающее в себе совокупность определенных действий и лиц, принимающих решения, в которые входят процессы планирования, оценки, реализации проекта и контроля. Согласно более широким представлениям понятийного аппарата управления, оно может трактоваться как функция организованных систем (биологических, технических, социальных), обеспечивающего сохранение их структуры, поддержание режима деятельности, реализацию её программы, цели.

В широком смысле, управление зародилось примерно семь тысяч лет назад, но только с конца XIX века и особенно в XX-м, с развитием социального рыночного хозяйства, менеджмент выделился в самостоятельную область знаний, т.е. в науку. Западный менеджмент – это, прежде всего, особая субкультура со своими ценностями, нормами и законами. С другой стороны - это совокупность технических процедур и методов, сумма неких практических действий по планированию, организации, мотивации и контролю, необходимых для достижения поставленных целей. В этой связи, объем и содержание понятий управление и менеджмент несколько не совпадают, так как менеджмент можно трактовать как «успешное управление», как достижение цели с учетом ресурсных ограничений. Термин менеджмент применим к любым типам организаций, но если речь идет об общественном секторе, то используется выражение «государственное управление (регулирование)», «муниципальное управление», а для обозначения более абстрактного уровня управления применяется понятие «администрирование».

Теоретическое осмысление процесса институционализации социального управления, формирования бюрократии породили в социальной философии ряд теорий, которые в решении вопроса о критериях социального прогресса, переносят акцент на растущую роль управленцев как социальной силы. К числу таковых относится теория революции менеджеров, одна из основополагающих социально-философских концепций американской социологии и менеджмента. Теория революции менеджеров исходит из утверждения о том, что определяющую роль в историческом развитии играет смена общественных элит. Новый класс наемных работников – управляющих – все более вытесняет старую элиту – собственников и играет решающую роль в развитии современного общества. На место главной руководящей силы общества выдвигается фигура просвещенного менеджера, который должен оттеснить собственника не только в управлении производством, но и у власти. При этом идеология революции менеджеров учитывает разделение капитала – собственности и капитала – функции, а также социальные различия между их носителями-акционерами и управляющими.

Идея революции менеджеров и термин принадлежат Дж. Бернхэму, но во многом исходит от Г. В. Ф. Гегеля и К. Маркса (их идей о сущности и роли корпораций в капиталистическом обществе). Главный идеолог направления утверждает, что в качестве нового правящего слоя менеджеры получают в распоряжение государственный аппарат и контроль над средствами производства.

Второй этап – в конце XIX – начале XX века в эпоху семейного капитализма связывают с теориями Э. Бернштейна и К. Шмитта: класс капиталистов постепенно вытесняется административной стратой, интересы которого противоположны интересам собственников.

На третьем этапе, в 1953 году П. Сорокин заявил о трансформации капиталистического класса в менеджерский. Т. Парсонс в 1956 году говорил о переходе контроля над производством, принадлежавшим когда-то семьям собственников корпораций, к управленческому и техническому персоналу. В 1958 году Д. Белл ввел термин молчаливая революция, подчеркнув, что собственность и формальный контроль разделены окончательно, а потому традиционная теория классов потеряла ценность.

Идеолог американского менеджериализма Джон Ми утверждает, что «нынешний управляющий, отделенный от собственности даже в перспективе, наделен глубокой социальной ответственностью, он опекает вклады, заботится о рабочих, находит свое духовное

удовлетворение в усилиях по созданию лучшей и изобильной жизни для человеческих существ» [1].

Другие идеологи менеджмента – Р. Мэрис и О. В. Вильямсон аргументируют внутреннее бескорыстие его представителей определенным риском потерять денежное вознаграждение, который они несут якобы ради пользы предприятия и держателей, ради обязанностей перед общественностью. Периодические издания Американской ассоциации передового управления 60-х годов усиленно подчеркивают, что в противоположность ориентации собственника на прибыльность управляющий подчиняет свою деятельность ответственному служению обществу. Эта неоконсервативная концепция носит более реалистический характер и более удобна для апологии системы, ибо позволяет связывать идеалы трудящихся с деятельностью более понятной и осязаемой для них фигуры менеджера, нежели анонимный и отдаленный от предприятия собственник.

Не случайно европейские специалисты считают, что узким местом для Европы является проблема менеджмента, а не технологии, в то время как в США важнейшим фактором высокой производительности является наличие развитой философии управления. Сторонники революции менеджеров видят в менеджеризации американского общества залог сохранения и развития демократических традиций, противопоставляя их политическим симпатиям слоя собственников, с которыми связываются непонятные, правые тенденции типа маккартизма. П. Дракер открыто объявляет эту теорию «гарантией снижения престижа международного коммунизма» [2].

Идеи революции менеджеров находят различное преломление. В некоторых из них традиционное для данной теории противопоставление управляющего собственнику используется для доказательства тезиса об исчезновении капиталистов и превращении общества в социальную систему различных профессиональных групп, состоящую якобы только из лиц наемного труда, в которой руководящая роль принадлежит менеджерам. В других - и их большинство – основной идеологический акцент делается на логическом увязывании тезиса о социальной ответственности бизнеса с социальными функциями менеджеров, которые предстают, таким образом, как конкретные носители ответственности промышленного сектора. Особое внимание при этом в обязанностях менеджмента уделено росту функций надзора, стимулирования и координации человеческой деятельности на производстве, происходящему по мере

отделения управления от собственности и отделения профессионально-технических функций от административных внутри управления. Ориентацию сегодняшнего и завтрашнего менеджера, как свидетельствует Дж. Ми, определяют проблемы рынка квалификаций и способностей наемных лиц, приспособление человеческих усилий к технологическому прогрессу и сбережению труда и влияние различных групп власти (профсоюзы, политические партии, религиозные, просветительные и другие организации) на отношение рабочих к производительности и прогрессу, т.е. проблемы, связанные с модернизацией функций надзора на производстве.

Упор на противопоставление интересов менеджмента как компетентных руководителей производства интересам собственников привлек внимание буржуазных социологов к конкретному исследованию типа классовых отношений на предприятиях. Изменения в составе господствующего класса важны для предупреждения социальных конфликтов на производстве. Поскольку менеджмент в силу определенного промежуточного положения между собственниками и рабочими нуждается в согласии рабочих как во второй основе власти (помимо власти, передоверенной собственником) и не может, в отличие от собственника осуществлять свою власть в противоречии с подчиненными, - такое согласие имеет для него специфическое для данного слоя значение.

Исследования, касающиеся объективных изменений в положении менеджеров в обществе и на производстве, используются и организациями и бизнесменами. Менеджеры находят сегодня новые формы взаимодействия с профсоюзами. В их руках сосредоточены результаты социальных исследований, рекомендации психологов, контроль над коммуникациями, позициями и ролями, т.е. те средства, которые делают социальное взаимодействие менее материальным и более психологическим. Именно этот слой воспринимает первым и проводит в жизнь новую философию производственного управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mee, John. Management thought in dynamic economy. New York.: Associated Press 1963. - p. 47:
2. Друкер, П. Классические работы по менеджменту. М.: «Альпина Бизнес Букс», 2008. — С. 220.

УДК 316.4

Студ. Е. И. Амбражевич, П. В. Повидайко  
Науч. рук. ст. преп. М. В. Подручный  
(кафедра философии и права, БГТУ)

## **ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЕ ОБЩЕСТВО КАК СОЦИАЛЬНО-ФИЛОСОФСКИЙ КОНЦЕПТ**

Понятие потребительского общества, отражающее ключевую для развития постиндустриальной цивилизации тенденцию нарастающего объема валового производства и роста комфорта жизни, устойчиво вошло в лексикон современной социологической и экономической науки. Тем не менее понятие до сих пор не имеет четких социально-экономических квалификаций и требует критики и детального уточнения возможного только в рамках социально-философской методологии.

Понятие «потребительская революция» (consumer revolution) возникло как аналог понятия индустриальной революции и было призвано объяснить истоки возникновения капитализма и смену традиционного общества современным. Как специфичный социально-экономический феномен, общество потребления существовало уже в XVIII в. Потребительская революция, ставшая следствием роста объема производства, масштабов обращения капитала и появления феномена свободного времени и положившая начало длительному эволюционному процессу, в апогее привела к появлению «общества высокого массового потребления» [1].

Современные социальные ученые выделяют три группы предпосылок, которые сделали возможной потребительскую революцию:

1) Интеллектуальные. К числу интеллектуальных предпосылок относится развитие экономической мысли в конце XVII века. Господствовавшее во второй половине XVII века меркантилистское направление, в соответствии с которым богатство нации проистекает от накопления денежной массы в стране и является результатом положительного торгового баланса, утрачивает свои позиции. Происходит отход от меркантилистских представлений о неэластичном спросе как о постоянной величине, зависящей разве что от роста населения, и представляющей собой необходимое зло. Стремление к потреблению начинает восприниматься как естественное проявление человеческой природы, которое только и способно побудить людей к труду и способствовать экономическому развитию.

2) Социальные. Относительно высокий уровень социальной мобильности, отсутствие социальных барьеров, регламентаций, препятствующих общению представителей различных классов, сокращение социальных дистанций создает основу для подражания и социальной конкуренции. Рост численности городского населения также создает условия для реализации механизма подражания.

3) Экономические. Третья предпосылка возникновения потребительской революции — рост благосостояния населения, который происходит как за счет развития промышленности, так и за счет увеличения числа работающих. За период 1750–1780 гг. доля населения с доходом от 50 до 400 фунтов стерлингов в год возросла с 15 % до 25 %. Именно этот сегмент населения составляет основную часть потребителей товаров массового рынка.

Потребление становится все в большей степени демонстративным, меняется статус вещи: если раньше в ней ценилась долговечность, практичность, то теперь ценится ее соответствие тенденциям моды, которая начинает сменяться со все возрастающей скоростью. Представления о возможности и необходимости постоянного совершенствования природы человеком, заложенные в проекте модерна, нашли воплощение в ценности новизны, которая, наравне с постоянно изменяющейся модой, побуждала к частому приобретению вещей. *Alter ego* потребительской революции — это процесс коммерциализации/коммодификации. Блага, которые ранее не воспринимались как товары, начинают обмениваться на рынке и приобретают стоимостное выражение, вследствие чего изменяется роль вещей в жизни.

Как следствие, практически одновременно в социально-философской и экономической литературе формируется критическая рефлексия над природой и последствиями стихийного явления роста потребления. Сегодня перед основной частью человечества уже не стоит вопрос об элементарном выживании. Зарабатывать на жильё, одежду и еду можно даже в странах так называемого третьего мира. Однако рыночная цивилизация с помощью всех доступных средств массовой информации и коммуникации убеждает человека, что он обязан не просто жить, а жить хорошо.

Теоретическим рассмотрением проблемы потребления впервые озаботился Т. Б. Веблен, который обозначил проблему так называемого демонстративного потребления. Веблен прослеживает, как с развитием общества обладатели собственности оказываются привилегированной группой, которая становится во главе общественной иерархии. Он констатирует, что представители этой

группы не участвуют в полезном труде, в создании материальных ценностей; они получают продукцию общественного производства лишь как собственники средств производства, благодаря «факту собственности». Поэтому Веблен и называет данную общественную группу выразительным термином «праздный класс».

Помимо праздности, Веблен отмечает еще одну важную особенность, характерную для представителей господствующего класса: чрезмерные, не обусловленные человеческими потребностями размеры потребления. Такое потребление было возможно потому, что представители праздного класса благодаря собственности присваивали себе большую часть созданного обществом продукта. По существу, Веблен дает иллюстрацию того, как в сознании людей возникает и формируется фетишизм вещей, который впоследствии принимает форму товарного фетишизма.

Психолог и философ Эр. Фромм в книге «Иметь или быть?» поднял проблему мировоззренческого раскола, характерного для современного человека. Автор выступает с глобальной критикой стратегии «иметь». По Фромму, многие современные люди не существуют в полном смысле этого слова – они постоянно расширяют свой мир через приобретение вещей, но так как они этими вещами не являются, то их жизнь сводится к постоянной гонке за обладанием. Даже когда человек получает образование, он хочет иметь диплом, иметь статус, иметь способность. У него нет понимания того, как он сам существует в этом мире и в чем смысл его существования. Общество потребления вообще пытается освободиться от моральных устоев. «Если я — то, что я имею, и если то, что я имею, потеряно, — кто же тогда я?» [2]

Ж. Бодрийяр развивает мысль о том, что вопреки видимости, создаваемой идеологиями, людей в развитых обществах связывают не демократические ценности, не вера в верховенство нации и права личности, а потребление, которое обеспечивает дифференциацию людей и их сходство, заданное определенными потребительскими моделями.

Рано или поздно потребление начнёт уменьшаться, а это потребует от уже порядком избалованного маркетологами человечества недюжинных усилий. Готовиться стоит начать заранее, и, как знать, может быть, появление некоторых субкультур вроде стритэйджеров или минималистов, стало первыми шагами человечества в постпотребительское будущее нашей планеты. Антипотребительство — это противопоставляемая потребительству



идеология, выступающая против приравнивания уровня личного счастья к уровню приобретения и потребления материальных благ.

Оппозиция экономическому материализму идет, главным образом, из двух источников — от религии и общественной активности. Некоторые религии утверждают, что материализм мешает связи между человеком и божественным, или что потребительство по своей сути является аморальным образом жизни. Настоящей попыткой изменить систему можно назвать бит-движение, зародившееся в 40-50-е годы в США, его представители пытались понять, что такое человек и как он должен жить.

Еще одно движение, радикально противопоставляющее себя культуре потребления, – это фриганизм, представляющий из себя стиль жизни, отрицающий принципы потребительства. Фриган презирает общество потребления, основанное на конкуренции, имморализме, конформизме и жадности. Поэтому фриган должен потреблять лишь необходимый минимум, помогать другим и быть щедрым. Основная цель фриганов — минимизировать или вообще исключить свою финансовую поддержку корпораций и остановить тем самым глобализацию мировой экономики, дистанцироваться максимально от общества бесконтрольного потребления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ростоу, У.У. Политика и стадии экономического роста. М.: АСТ - Пресс, 1992 – С. 67.
2. Фромм, Эр. Иметь или быть. М.: Республика, 1992 – С. 87.

УДК 168.512

Студ. Вл. Э. Липинский  
Науч. рук. ст. преп. М. В. Подручный  
(кафедра философии и права, БГТУ)

#### **ТЕОРИЯ МУЛЬТИВСЕЛЕННОЙ В КОСМОЛОГИИ И ФИЛОСОФИИ**

Образы космоса всегда играли ключевую роль в представлениях людей любой исторической эпохи и любого исторического типа мировоззрения. Астрономия и космология (изучающие Вселенную как целое), развивавшиеся первоначально в структуре мифологических и философских представлений о мире, приобрели доказательных и подлинно научный статус относительно поздно. Вероятно, этим обстоятельством можно объяснить большое количество революционных открытий в данной области научного поиска,

произошедших за последнее столетие. Обоснование модели динамической Вселенной, формирование физических принципов космогенеза в рамках теории Большого взрыва, рождение понятия темной материи занимают существенное место в формировании синергетической картины мира и – как следствие – требуют от философии критического анализа основ нового мировоззрения.

Одним из математических следствий моделирования состояний фазового перехода материи в условиях зарождения Вселенной стала теория инфляции, объяснявшая многообразие эпох космогенеза как специфических состояний Вселенной, каждое из которых обладало специфической, нетривиальной физикой. Теория инфляции укоренилась очень быстро в космологическом сообществе, поскольку она потенциально разрешила глобальные проблемы расширения Вселенной, но также дала потенциальный ответ происхождения структуры Вселенной. Структура распределения галактик по инфляционной модели совпадает с наблюдаемыми параметрами скопления галактик и колебаний в реликтовом излучении. Теория инфляции также предполагает вероятность Мультивселенной – объекта, который прежде рассматривался только в качестве предмета философского изучения.

Одним из первых идею мультивселенной в философии выдвинул Готфрид Лейбниц в своём четырёхтомнике. Там он разработал и описал концепцию «возможных миров». Её суть говорит о том, что существует бесконечное число миров и наш мир является лишь одним из них. Но, в отличие от остальных, является единственным действительным. Помимо этого, он считал что на каждом уровне этого мира как в макро- так и микро- мире существуют свои живые существа. Наши миры существуют одновременно, но каждое из существ не может осознать присутствие другого.

Вторым учёным, который развил эту идею, был Д. Льюис. В своей идее он опроверг суждение Лейбница о том, что мир только лишь наш мир является действительным. Льюис говорил о том, что «возможность» дополняет «действительность» и оба эти составляющие являются сторонами одного целого.

В своей статье 1968 года он разработал идею о двойниках, которые существовали в разных мирах. Также выдвигались несколько постулатов, описывающих возможность существования и характеристики двойников в «возможных мирах». Интересна сама концепция двойников, ведь согласно ей и её постулатам. Существуют миры, где двойников нет, либо миры, где двойника два(близнецы). А в своём собственном мире, объект является своим же двойником. Эти

двойники являются похожими, но имеют разные характеристики. Можно рассмотреть это на примере: человек говорит, что он мог быть сейчас другим, если, к примеру, у него были сейчас другие волосы. Но это не совсем так, в другом мире есть его двойник, обладающий рыжими волосами и он действительно другой. Исходя из этого, и пошёл термин «возможные миры», так как те другие миры описывают возможности, то, что могло случиться [1].

В физическом смысле мультивселенной называют множество конечных и бесконечных возможных вселенных, в числе которых находится и наша. Их симбиоз создаёт пространство, материю, энергию, время и различные явления и законы, которые их порождают. Гипотезы о существовании мультивселенной выдвигались учеными из различных областей: физиками, космологами, фантастами, философами. Сам же термин «мультивселенная» был введен, создан философом У. Джеймсом. Чтобы понять суть этой теории, стоит обратиться к её истокам. Впервые с научным обоснованием об этом заговорил Шредингер на своей лекции в 1952 году, когда во время лекции сказал, что составленные им уравнения описывают «не альтернативные, но происходящие одновременно» [2].

Однако в настоящее время это теория является спорной, так как порождает большое количество научных теологических и философских вопросов. Данная теория находит широкое применение в теории струн, квантовой механике и в теории инфляционной мультивселенной. Из-за невозможности доказательства или опровержения данной теории, определенный ряд ученых считает, что данная теория скорее относится к философии, чем к физике.

М. Тегмарк – профессор Массачусетского технологического института. Впервые он описал свою теорию иерархии мультивселенной, которая является частью его теории математической вселенной. В 2005 году он опубликовал статью «Universe or Multiverse?». В ней он описал иерархию четырёх видов мультивселенных, которые имеют место быть: 1) Регион за нашим космическим горизонтом; 2) Другие постинфляционные пузыри; 3) Множество миров квантовой физики; 4) Другие математические структуры [3].

*Регион за нашим космическим горизонтом.* Согласно М. Тегмарку, на первом уровне иерархии находится одна большая бесконечная вселенная, разделенная космическими горизонтами. Её появление обусловлено бесконечностью пространства и однородностью материи. Поэтому, М. Тегмарк делает вывод, что

существует бесконечное количество обитаемых планет, которые населены людьми. На каждой из этих бесконечных планет можно найти такую же копию вас, с такой же внешностью, именем, характером (однако здесь бы я хотел добавить возможность того, что могут быть отклонения по какому-либо параметру). Также, могут быть части вселенной, где произошли все возможные альтернативные варианты истории.

*Другие постинфляционные пузыри.* На этом уровне иерархии существует доменная система из таких «пузырей», в которых содержится вселенная меньшего уровня (первая в иерархии). Они располагаются настолько далеко, что даже двигаясь со скоростью света, человек никогда бы не смог её достигнуть, так как все ещё происходит инфляция, которая растягивает вселенную. Это растяжение происходит с такой скоростью, с которой человек бы не смог двигаться. Этот элемент иерархии очень хорошо взаимодействует с теорией большого взрыва. Вселенная будет расширяться до определенного момента, а потом сожмётся и коллапсирует в новый большой взрыв.

*Множество миров квантовой физики.* Это третий тип мультивселенной, который говорит о параллельных мирах, которые в тоже время находятся рядом с нашим. На этом уровне каждый раз как происходит какое-либо событие, даже на квантовом уровне, появляются новые ветви вселенной. Это легко показать на примере: Есть наша вселенная и, к примеру, человек должен совершить какой-либо выбор. В момент выбора, вселенная делится на две ветви: в первой он сделал выбор №1, а в другой ветви №2. Таких ветвей может быть  $n$ -ое количество. В физике все эти ветви называются пространством Гилберта. Эту теорию ещё можно рассмотреть со стороны наблюдателей. Один из наблюдателей, допустим это будет наблюдатель А, находится вне наблюдаемой системы и может видеть все её изменения, а также есть наблюдатель Б, который находится внутри этой системы. Оба они наблюдают одну и ту же систему, но наблюдатель А может наблюдать всю систему целиком, а наблюдатель Б лишь малую её часть. Вопрос «кому из них верить?» ведёт к нескольким парадигмам, которые разработали Платон и Аристотель. Парадигма Аристотеля: субъективность воспринимаемая, наблюдателем Б физически реальна, а взгляд, получаемый наблюдателем А, всего лишь полезное приближение. Парадигма Платона: Парадигма наблюдателя А физически реальна, и взгляд наблюдателя Б используется просто для того, чтобы выразить сложные вещи, простыми.

Согласно этим парадигмам, доказать существование мультивселенной 3 типа: можно только при помощи парадигмы Платона.

*Другие математические структуры.* Согласно этой теории в основе мира лежат математические законы. Поэтому можно предположить, что существуют и другие миры, в которых математические законы весьма отличаются от наших, и в которых существуют другие математические структуры. Согласно этой теории, математические структуры лежат в поле четырехмерного пространства-времени. И позволяет описывать не только отдельные фрагменты, но и всю систему в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Льюис Дж. Возможные миры и монадология Лейбница. // Аналитическая философия: истоки. Хрестоматия. М.: Гардарики, 1992 – С. 32-36.
2. Шрендингер Э. Новые пути в физике: Статьи и речи. М.: Наука, 1971. – С. 67-68
3. Tegmark, Max Universe or Multiverse? // Foundations of Physics — 2010. — № 38(2) — P. 101–150.

УДК 332.14

Студ. В. В. Цалко  
Науч. рук. зав. кафедрой, доц. П. М. Бурак  
(кафедра философии и права, БГТУ)

#### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ УГРОЗЫ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЩЕСТВА**

На рубеже XX и XI века человечество шагнуло на ступень кардинальных технологических преобразований, связанных с возникновением нового ряда значительных опасностей и угроз. Пройти путь по восходящей лестнице к новой информационной цивилизации, основанной на колоссальных возможностях технологий, не сорваться вниз, способно общество с высокими нравственными идеалами и ясным пониманием всей глубины ответственности за каждый свой шаг. Сегодня информационные технологии, рассматриваемые как фактор, оказывающий огромное влияние на глобальное развитие социума и формирование информационной реальности, повлияли на сознание человека и его возможности, изменили жизнь общества, трансформировали приоритеты и ценности. Как эти высокие технологии, являясь средством

осуществления жизнедеятельности человека, будут применены в будущем, зависит от общества и его выбора.

Привлечение внимания общества к проблемам информационной безопасности связано с новыми технологическими особенностями жизни в современном мире. На смену аграрному и индустриальному производству приходят интеллектуальные и информационные технологии. Все большая часть общества вовлекается в работу с информацией. Информация становится важнейшим ресурсом общества. М. Кастельс отмечал, что «наступающая информационная эпоха характеризуется специфической формой социальной организации, в которой новые технологии генерирования, обработки и передачи информации стали фундаментальным источником производительности и власти». [1]

Сегодня любое производство или управление, связано с проблемой информационной безопасности. Увеличение сложности, многозадачность производства и управления, рост скорости их протекания связаны с ростом интенсивности информационных процессов и возрастающей скоростью устаревания информации. Данная ситуация является причиной новых рисков и угроз для современного общества, одновременно приумножая прежние. Они являются основными составляющими, прогнозов и решений любых проблем общества: будь то управление государства, или социально-экономическое взаимодействие власти, общества и бизнеса.

Применение современной компьютерной техники, особенно больших технических систем, ведет, однако, не только к позитивным результатам, но и к увеличению рисков их функционирования. Поэтому современное общество, как никакое до сих пор существовавшее, становится зависимым от техники. Коммуникация становится основной структурой общества, причем она невозможна без общества, а общество – без нее. В принципе любая точка на земном шаре доступна для коммуникации, несмотря на все технические, политические или географические препятствия, а мировое общество – самоокончателность мира в коммуникации.

Безопасность отдельных субъектов, как и безопасность системы общества в целом, обусловлена ростом интенсивности коммуникаций в обществе. В современном мире развитие и усложнение социальной реальности связано с увеличением количества и разнообразия социальных ситуаций, ведущих к росту проблемы регулирования социального пространства.

Чаще информационными угрозами называют угрозы, исходящие от киберпространства (от виртуального мира). Но в то же время важно

понимание того, что само современное общество, в условиях роста интенсивности информационных потоков, вырабатывает новые социальные практики не только в Сети, но и в обычном мире «актуальной реальности», которые можно считать и практиками обеспечения безопасности субъектов. Соответственно, об обеспечении информационной безопасности можно говорить в широком и узком смысле этого слова: информационная безопасность в условиях современного общества (реального социального порядка) и информационная безопасность в условиях киберпространства (виртуальной реальности).

В первом случае речь идет о социальных практиках, адекватных скорости и многообразию современных коммуникаций. Во втором случае, речь идет о сетевых практиках, адекватных изменчивому виртуальному пространству. Таким образом, информационная безопасность – это обеспечение безопасности социальных практик информационной среды в условиях роста интенсивности информационных потоков и устаревания информации. Защиту своей информации можно интерпретировать как препятствие изменению чужой системы с целью предотвращения возможности этой системы нанести ущерб.

Изучение способов противодействия угрозам информации и укрепления безопасности информационных систем требует разграничения их по мерам защиты. Существует пять основных уровней мер защиты: 1) морально-этические; 2) законодательные; 3) административные; 4) физические; 5) технические.

Морально-этическая мера имеет исключительную значимость в системе защиты информационной безопасности, которую необходимо рассматривать в качестве начального и конечного этапа построения системы защиты информации и информационных систем. Изучение особенностей функционирования ключевых мер противодействия угрозам безопасности приводит к тому, что систему защиты безопасности невозможно построить, основываясь сугубо на административных, физических и технических средствах. Уровень технической защиты, образующей основу системы безопасности, прежде всего, зависит от профессиональных и личностных качеств сотрудника. А его повышение обеспечивают, прежде всего, законодательные и морально-этические меры. При этом самые совершенные законы и безукоризненная кадровая подготовка не решают проблему защиты информации в полной мере. На сегодняшний день актуальны проблемы обеспечения информационной безопасности вызванные, в первую очередь, утратой нравственных

ценностей и идеалов, подчинённых политико-идеологическим интересам. В сложившейся ситуации ключевое значение приобретает информационная этика и культура поведения человека, которые должны соответствовать существующей модели информационной безопасности. Решая проблемы обеспечения информационной безопасности, в значительной мере вызванные утратой гуманистических нравственных ценностей, идеалов и подчинением морали политико-идеологическим интересам, информационная этика формулирует свои принципы: «принцип доступности, принцип полноты и целостности информации, принцип конфиденциальности и принцип ответственности». [2] Указанные принципы информационной этики в целях достижения образцов нравственности, справедливости и защиты моральных ценностей в процессе применения информационных технологий и социальных отношений в информационной среде, позволяют создать нравственную основу для обеспечения деятельности современного общества в сфере информационной безопасности.

Социальные меры обеспечения информационной безопасности представляют собой многоуровневую систему методов и технологий, принятую и поддерживаемую государством, обществом, коллективом, личностью, направленную на формирование особого регулятивного механизма, определяющего соответствующее нравственное поведение индивида в процессе применения информационных технологий и взаимодействия в информационной среде.

Система социальных мер защиты информационной безопасности состоит из следующих основных уровней: в масштабах всего общества (макроуровень); в рамках социальных организаций и групп (мезоуровень); на индивидуальном или личностном (микроуровень). В рамках макроуровня социальных мер обеспечения информационной безопасности, где основными субъектами защиты являются государство и общество, программа государственной политики обязана разработать согласованную концепцию правового регулирования информационной безопасности; внедрить практику популяризации и пропаганды основных принципов информационной безопасности, прав и обязанностей в информационной сфере; создать научно-методологическую базу в области информационной безопасности. В качестве технологий защиты безопасности мезоуровня социальных мер, субъектами защиты которого являются социальные группы, профессиональные организации и иные объединения, выделены разработанные и принятые в данных организациях и группах этические нормы, кодексы, правила,



регламентации, процедуры информационного взаимодействия и безопасного использования информационных технологий. На микроуровне социальные меры обеспечения информационной безопасности осуществляются в процессе обучения и развития индивида с целью формирования специфической регулятивной системы или комплекса механизмов и алгоритмов, определяющих поведение субъекта в информационной среде.

Обеспечение информационной безопасности является первостепенной задачей для современного общества. Это достаточно сложный и многофункциональный процесс, который зависит как от внешних, так и от внутренних факторов. Это объясняется тем, что на современном этапе развития общества информационные технологии приобретают все большую значимость в жизни не только отдельного человека, но и целого государства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кастельс, М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура. М.: Эконом-пресс, 2007. – С. 79-80

2. Манжуева О.М. Философско-этические основания информационной безопасности. Улан-Удэ: Изд-во Бурятс. гос. ун-та, 2008. - С. 111 - 113

УДК 1:316

Студ. К.Д. Ермолаева

Науч. рук. доц. П.М. Бурак

(кафедра философии и права, БГТУ)

#### **СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЩЕСТВА В КОНТЕКСТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛАНЕТЫ**

Экология как наука, появившаяся в середине XIX в. и стремившаяся в полной мере исследовать все стороны взаимоотношений животных, в том числе и человека, с неорганической и органической средой, пришла к выводу, что так расточительно использовать природу дальше нельзя. Природопользование ограничено необходимостью сохранения равновесия в данном пространстве и времени. В то же время человек не может отказаться от технического прогресса, так как он способствует облегчению труда, но угрожает природе, без которой человек как природное существо не может существовать.

Русский ученый В.И.Вернадский еще в 1922 году предупреждал об экологической опасности, которая может привести человечество к гибели. Загрязнение природы приобрело особенно значительные

размеры в период индустриализации и урбанизации. Эти два важнейших процесса привели к значительным цивилизационным переменам и рассогласованию экономического и экологического развития. Это рассогласование приобретает глобальные масштабы начиная с 50-х гг. XX века, когда развитие производительных сил вызвало такие изменения в природе, которые ведут к уничтожению биологических предпосылок жизни человека и общества.

Социально-экологическая безопасность представляет собой состояние защищенности общественных отношений, складывающихся в области регулирования экологической деятельности общества и государства, нормального функционирования государственных и общественных институтов, реализации экологических прав, свобод и интересов граждан.

Экологическую безопасность можно рассмотреть с четырех позиций:

1. *Экологическая безопасность – социальная цель.* В данном случае экологическая безопасность совпадает с целью устойчивого развития общества, направленного на обеспечение безопасного существования всех его членов.

2. *Экологическая безопасность – социальная норма.* В этом качестве экологическая безопасность выступает как социальная ценность, интегрированная в человеческое общество в виде основных норм, определяющих и организующих все виды деятельности.

3. *Экологическая безопасность – состояние социо-техно-природной системы.* Экологическая безопасность имеет системный характер, проявляющийся во взаимосвязи природных, техногенных и социальных процессов социо-техно-природной системы. Данная форма дает возможность количественной оценки реального уровня экологической безопасности на основании уже выработанных качественных критериев. Это наиболее конкретная форма анализа состояния экологической безопасности, позволяющая рассматривать ее в реальных показателях.

4. *Экологическая безопасность – социальный институт.* Экологическая безопасность как институциональная форма - такое состояние общественных отношений в области природопользования и охраны окружающей природной среды, которое выражается в политико-правовой защищенности интересов личности, общества и государства от неблагоприятных воздействий, создающих угрозу здоровью людей и функционированию экосистем.

Загрязнение окружающей среды – привнесение новых, не характерных для нее физических, химических и биологических

агентов или превышение их естественного уровня. Источником загрязнения окружающей природной среды выступает хозяйственная деятельность человека. В городах наибольший удельный вес от загрязнения дает транспорт (70-80%). Среди промышленных предприятий наиболее «грязными» считаются металлургические — 93,4%. Сильнейшими загрязнителями окружающей природной среды являются отходы производства, бытовые отходы. Ежегодно на одного жителя Земли приходится свыше 20 т. отходов. [1]

Проблема загрязнения должна решаться на международном уровне, потому что у природы нет государственных границ. Для предупреждения загрязнения необходимо вводить санкции предприятиям, выбрасывающим отходы в окружающую среду, налагать крупные штрафы за размещение мусора в неполюженном месте. Стимуляция к соблюдению норм экологической безопасности также может быть осуществлена финансовыми методами. Такой подход доказал свою эффективность в некоторых странах.

Перспективным направлением по борьбе с загрязнением является применение альтернативных источников энергии. Использование солнечных батарей, водородного топлива и других сберегающих технологий позволит уменьшить выброс токсичных соединений в атмосферу.

Большое внимание уделяется вопросу о способности природной среды обеспечить растущее население планеты необходимыми условиями для его нормальной жизнедеятельности. Проводимые исследования в этом направлении обозначили две составляющие. Одна – предполагает возможность решения проблем окружающей природной среды на основе смены поведения человека в соответствии с такими социальными ценностями, которые обеспечивают как благоприятные условия для жизни человека, так и стабильность окружающей природной среды. Другая – рассматривает приоритетный экономический рост на базе ресурсосберегающих технологий и решение проблем окружающей среды на базе увеличения финансирования в этой области и принятия новых технологических решений. В настоящее время человечество стоит перед дилеммой: или сохранить существующий способ взаимодействия с природой, что неминуемо может привести к экологической катастрофе, либо сохранить биосферу, пригодную для жизни, но для этого необходимо изменить сложившийся тип деятельности, а это возможно только при условии формирования новой, экологической, культуры.

Например, в Швеции более 99% мусора перерабатывается и используется повторно тем или иным способом – этот феномен уже прозвали «шведской революцией ресайклинга» [2]. Сортировка мусора является одним из важнейших правил шведской семьи, однако экологический образ жизни шведов на этом не заканчивается. Ещё одним способом пути превращения планеты в экологический рай стало использование инновационных экологических решений. Шведское правительство инвестировало более 400 миллионов крон в исследования и разработки в области экологии и защиты окружающей среды. Среди наиболее известных разработок – биотопливо, интеллектуальные электросети, а также сбор и хранение углерода.

Таким образом, внедряя экологическую культуру, люди постепенно перейдут к экологическому образу жизни, опираясь на знания и разработки таких стран как Швеция, а в дальнейшем и вовсе избавятся от одной из назревающих глобальных проблем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников, С. И. Экологические основы природопользования : учеб. пособие для сред. проф. учеб. заведений. – М. : МарТ, 2005. – С. 105-108.

2. Экология как норма жизни [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sweden.ru/ljudi/ekologiya-kak-norma-zhizni/> – Швеция. – (Дата обращения: 24.01.2018).

**Секция  
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
И ТЕХНИКИ**

УДК 502.3

Студ. А.С. Юркевич

Науч. рук. доц., к.т.н., А.В. Лихачева  
(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

### **БИОКОМПОСТИРОВАНИЕ СКОПА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ НА ОАО «СКБЗ «АЛЬБЕРТИН»**

Решение проблемы переработки отходов является приоритетным направлением деятельности в области ресурсосбережения и охраны окружающей среды. Одним из видов отходов, вовлечение которого в хозяйственный оборот затруднено, являются осадки очистных сооружений предприятий по производству бумаги, которые называются скопом. В нашей республике функционирует более десяти предприятий по производству картонной и бумажной продукции для которых эта проблема актуальна. Состав скопа определяется видом производимой бумаги и картона, а также технологией очистки сточных вод и выделения из них скопа.

В данной работе рассмотрена возможность переработки скопа, образующегося на ОАО «СКБЗ «Альбертин». На данном предприятии в процессе формования бумажной массы и промывки технологического оборудования образуется сток с высоким содержанием взвешенных веществ, представленный мелкой фракцией макулатурного волокна, при очистке которого образуется большое количество осадка – скопа, состоящего из макулатурного волокна на 90 % и механических примесей на 10 %. Его влажность составляет 65%, а зольность 35%. В год на предприятии его образуется около 4,5 тыс. тонн. Относится скоп к отходам 4 класса опасности.

Данный отход можно вернуть в основной цикл производства. Но недостатком данного мероприятия является то, что в составе скопа содержится большое количество мелких волокон, которые обладают большой водоудерживающей способностью. Таким образом, скоп имеет высокую степень помола (до 80°ШР) и отличается плохой обезвоживаемостью.

Добавление такого скопа в композицию бумаги и картона вызывает ряд затруднений:

- замедление водоотдачи бумажной массы,
  - снижение прочности бумажного листа во влажном состоянии,
  - увеличение расхода пара в сушильной части,
- снижение производительности бумагоделательных машин.

Поэтому вследствие особенностей состава и свойств он не подлежит переработке и на данный момент складывается на полигоне ТКО. Поэтому для того чтобы снизить накопление скопа на полигонах

существует возможность его компостирования с последующим применением полученного компоста в качестве удобрения.

Биокомпостирование – это биохимический процесс разложения органической части отходов микроорганизмами. В естественных условиях из-за особенностей своего состава скоп долго разлагается. Поэтому целью проводимой научно-исследовательской работы является исследование вариантов интенсификации процесса компостирования скопа, образующегося на «СКБЗ «Альбертин», с использованием структурообразующей добавки (опилки) и различных биоактиваторов.

План эксперимента отображен на рисунке 1.



**Рисунок 1 — План эксперимента**

Работа выполнялась в несколько этапов.

1. На СКБЗ «Альбертин» были отобраны пробы осадков сточных вод. После чего был проведен анализ данного скопа.

2. Т.к. скоп образуется на очистных сооружениях после фильтр-пресса он имеет вид больших пластов, поэтому перед компостированием требуется его подготовка, включающая измельчение (до 2-3 см) и удаление полимерных включений, стекла, фольги и др. включений.

3. Как говорилось выше в качестве структурообразующей добавки использовались опилки, которые предназначены для обеспечения благоприятных условий естественного аэрирования смеси в процессе компостирования.

4. В качестве биоактиваторов использовались вещества находящиеся в свободном доступе и рекомендованные для компостирования

отходов образующихся на садовых участках. В данном эксперименте были использованы биоактиваторы с торговыми названиями: «Горыныч», «Компостин», «Компостелло», «Экомик», «Expel Bio», «Доктор Робик», «Microbes».

5. Приготовление компостируемой смеси проводилось в соотношении: опилки:скоп:биоактиватор = 4:1:0,0005.

6. Процесс компостирования был начат в конце октября 2017 г. Компостируемая смесь перемешивается 1 раз в 14 дней и поддерживается влажность смеси (60%).

7. По окончании эксперимента будет проведен анализ полученного компоста. А также будут сделаны выводы о том, какой из биоактиваторов лучше, а также вывод о возможности применения полученного компоста в сельском хозяйстве.

На данный момент процесс длится 4 месяц. Сейчас трудно сделать однозначный вывод какой биоактиватор лучше всего подходит для компостирования скопа.

Показателями подтверждающими, что процесс протекает активно, является уменьшение объема компостируемой смеси и увеличение зольности. Полученные данные приведены в таблице 1.

**Таблица 1 — Результаты эксперимента**

Проба	V, дм <sup>3</sup>	На сколько % уменьшился объем компостируемой смеси	Рассыпчатость компостируемой смеси (по шкале от 0 до 5)	Зольность, %
Холостая	2,50	6,7	4	36
«Доктор Робик»	2,41	10,0	5	36
«Компостелло»	2,05	23,3	1,5	40
«Экомик»	2,14	20,0	3	40
«Expel Bio»	2,32	13,3	2,5	37
«Microbes»	2,41	10,0	2,5	36
«Горыныч»	2,32	13,3	3	37
«Компостин»	2,23	16,7	1	38

Объем начальной пробы был 2,68 дм<sup>3</sup>, а зольность 35 %.

Как видно из таблицы на данном этапе процесс протекает лучше всего в пробе с использованием препарата «Компостелло». В данной пробе объем компостируемой смеси уменьшился на 23,3 %, зольность увеличилась на 5 %.



В процессе биодegradации органический субстрат претерпевает физические и химические превращения с образованием стабильного гумифицированного конечного продукта – компоста. Поэтому в конце работы будут проведены исследования компоста по таким показателям качества как:

- зольность
- содержание трудно- и легкогидролизуемых полисахаридов
- состав ( наличие питательных веществ: N, P, C и др)

Так же будет определена область его применения. Так как компост представляет ценность и как органическое удобрение, и как средство, улучшающее структуру почвы, то он может использоваться:

- в садоводстве;
- в озеленении ботанических садах;
- в рекреационных парках;
- в фермерских хозяйствах;
- в сельском хозяйстве;
- для рекультивации полигонов твердых бытовых отходов.

В результатах выполняемой работы заинтересованы представители природоохранной службы ОАО «СКБЗ «Альбертин».

УДК 504.064.47:628.386

Магистрант М. Л. Кравченко

Науч. рук. доц., к.т.н., А. В. Лихачева  
(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ ОБРАЩЕНИЯ С ОТРАБОТАННЫМИ ЭЛЕКТРОЛИТАМИ ЦИНКОВАНИЯ**

Обоснованный выбор способа обращения с любым отходом должен проводиться на основании сравнительного анализа всех возможных вариантов.

Объектом изучения в данной работе являются отработанные электролиты гальванического цинкования, которые образуются на машино- и приборостроительных предприятиях Республики Беларусь.

С точки зрения основных технологических целей, достигаемых при обработке отработанных электролитов цинкования, направления обращения с ними можно разделить на три основные группы:

– Обезвреживание: в основном предприятия осуществляют очистку отработанных электролитов гальванического цинкования совме-

стно с промывными сточными водами на локальных очистных сооружениях, используя реагентный метод.

– Регенерация: позволяет увеличить продолжительность использования электролита и соответственно уменьшить расход свежей воды и потребность в используемых химических реагентах.

– Использование и переработка: существуют различные варианты обработки отработанных электролитов цинкования с целью использования содержащихся в них ценных химических компонентов.

Выбор способа обращения с отработанными электролитами гальванического цинкования для каждого производственного объекта должен проводиться с учетом состава отработанных электролитов цинкования, объема и периодичности их образования, востребованности получаемых из них продуктов и т.д.

В работе проведен сравнительный анализ способов обращения с отработанными электролитами цинкования, которые получили наибольшее практическое распространение, либо наиболее перспективные и целесообразные с практической точки зрения.

Для проведения сравнительного анализа подробно были изучены следующие варианты:

1. Совместная очистка с промывными сточными водами реагентным методом с применением ферроферригидрозоля (ФФГ).
2. Регенерация отработанных электролитов цинкования.
3. Получение пигментов.

В работе для проведения сравнительного анализа способов обращения с отработанными электролитами цинкования определяли: материалоемкость; рациональность использования сырья; направления использования образующихся отходов; энергоемкость; экономическую целесообразность процесса.

Для определения материалоемкости и оценки полноты использования сырьевых ресурсов были рассчитаны материальные балансы для рассматриваемых процессов.

Для определения энергоемкости были составлены энергетические балансы названных способов обращения с отработанными электролитами цинкования.

Для определения экономической целесообразности процесса произвели расчет стоимости оборудования, используемого в процессах.

В таблице представлена сравнительная характеристика трех методов обращения с отработанными электролитами цинкования.

**Таблица – Сравнение способов обращения с отработанными электролитами цинкования по материальным и энергетическим затратам (расчет произведен на расход отработанного электролита цинкования 7,2 м<sup>3</sup>/год)**

Способ обращения с отработанными электролитами цинкования	Расход материалов, кг/год	Образующиеся отходы, кг/год	Направление использования очищенной воды и электролитов	Энергопотребление, кВт/год	Стоимость технологического оборудования, USD
Очистка совместно со сточными водами реагентным методом с применением ферроферригидрозоля	– усредненный раствор поступающий на очистку: 223 200; – раствор FeSO <sub>4</sub> : 3 865 600; – раствор NaOH: 4 267 180; – воздух: 436.	Осадок: 56 350	Очищенная вода в производство	20 750	1 325
Регенерация отработанных электролитов цинкования	– отработанный электролит цинкования: 8 014; – 50%-ный раствор H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 186; – 33%-ный раствор H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 15 660; – 25%-ный раствор NH <sub>4</sub> OH: 3 379.	Осадок (Zn(OH) <sub>2</sub> ): 1 839	Возврат электролитов в производство	50 700	1 682
Получение пигментов	– отработанный электролит цинкования: 8 016; – раствор фосфата натрия: 7 398; – HCl: 211; – вода: 57 579	–	Использование в гальваническом производстве: – сточных вод от промывки № 5 без очистки – фильтрата и сточных вод от промывок № 1-4 после предварительной очистки	29 300	4 390

Анализируя данные таблицы можно сделать вывод, что наименьшими финансовыми затратами и энергопотреблением обладает способ обращения, предусматривающий совместную очистку отработанных электролитов цинкования и промывных сточных вод реагентным методом с применением ферроферригидрозоля. Это связано, в том числе, с тем, что образующийся в данной технологии осадок благодаря своим характеристикам может не захораниваться, а использоваться как сырье для производства строительных материалов, таких как керамика, пигменты и т.п. Однако данный метод характеризуется высокой материалоемкостью. Образующаяся очищенная вода может повторно использоваться в технологическом процессе на стадии промывки, однако необходима строгая система контроля за ее составом.

Регенерация отработанных электролитов цинкования позволяет получать регенерированный электролит цинкования, который можно повторно использовать в гальваническом производстве при нанесении покрытий. Процесс регенерации отработанных электролитов цинкования характеризуется высокой энергоемкостью, повышенными требованиями к применяемому оборудованию из-за высокой коррозионной опасности процесса. О нерациональном использовании цинк-содержащих компонентов отработанного электролита свидетельствует образование около двух тонн осадка, который поступает на захоронение на полигоны. При этом экологический налог за захоронение образующихся отходов существенно снижает экономическую целесообразность данного направления обращения с отработанными электролитами цинкования.

Переработка отработанных электролитов цинкования в пигменты менее материалоемкое направление, но значительно водоемкое, что приводит к образованию большого количества фильтрата и промывных сточных вод. Кроме того, данный метод характеризуется большой стоимостью используемого оборудования. Однако, производство пигментов из отходов для Республики Беларусь очень актуальным направлением, связано это с тем, что традиционно для производства пигментов используют дорогое химически чистое сырье ввозимое из-за рубежа.

Проанализировав полученные результаты, очевидно, что в зависимости от поставленных целей и приоритетности решаемых задач по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов, на практике могут быть использованы все три варианта обращения с отработанными электролитами цинкования. Выбор способа обращения во многом будет определяться условиями образования отхода, его составом, возможностями предприятия и т.д.

УДК 504.064.47:628.386

Студ. О.Ю. Кузьменкова  
Науч. рук. доц. О.С. Залыгина, асп. В.И. Чепрасова  
(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

## **ОТХОДЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА И СПОСОБЫ ОБРАЩЕНИЯ С НИМИ**

В настоящее время в Республике Беларусь уделяется особое внимание переработке отходов, т. к. ежегодно в стране образуется около 30 млн. т отходов производства, уровень использования которых остается крайне низким. Наибольшую трудность представляет переработка опасных отходов, имеющих сложный химический состав, в частности, отходов гальванического производства.

Отходы гальванического производства можно разделить на три вида: осадок сточных вод, гальваношлам и отработанные технологические растворы.

Осадок сточных вод образуется в результате очистки сточных вод гальванического производства. В настоящее время наибольшее распространение на предприятиях Республики Беларусь получили такие методы очистки, как реагентный метод, гальванокоагуляция и электрокоагуляция. Все эти методы приводят к образованию осадка сточных вод, который характеризуется многокомпонентным составом и содержит труднорастворимые соединения тяжелых металлов (хрома, цинка, никеля, кадмия и т.д.) в зависимости от вида наносимых гальванических покрытий. Несмотря на сложный состав этого вида отхода, в настоящее время существует целый ряд различных направлений переработки осадков сточных вод гальванического производства: извлечение металлов из отхода, получение пигментов, получение цветных глазурных покрытий, получение сорбентов, получение катализаторов, использование в качестве добавок в металлургической промышленности, получение бетонов и асфальтобетонов, получение строительных керамических материалов. В большинстве случаев предлагается использовать осадок сточных вод гальванического производства в промышленности стройматериалов – при изготовлении бетонных смесей, стеновых керамических материалов, заполнителей для легких бетонов (керамзита, алгопорита), лицевых керамических изделий.

Менее изученным является вопрос обращения с отработанными технологическими растворами, особенно с отработанными электролитами, которые чаще всего сбрасывают на очистные сооружения совместно с промывными сточными водами. Это связано с периодиче-

ским характером их образования (1-4 раза в год) и небольшими объемами. Однако, высокая концентрация в них ионов тяжелых металлов приводит к нарушению работы очистных сооружений и опасности загрязнения окружающей среды элементами, обладающими канцерогенными и мутагенными свойствами. Отработанные электролиты гальванического производства в соответствии с Классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь, относятся к жидким отходам и, следовательно, их сброс со сточными водами запрещен. В некоторых случаях осуществляют регенерацию отработанных электролитов с их возвратом на стадию нанесения гальванических покрытий. Однако, это дорогой и трудоемкий процесс, реализация которого требует больших финансовых затрат. В последнее время появились работы по использованию отработанных электролитов для получения товарной продукции, например, для получения пигментов. Это достаточно перспективное направление, т.к. в настоящее время пигменты в Республике Беларусь не производятся, сырьевая база для их получения отсутствует.

Самым неизученным является вопрос обращения со шламами гальванического производства, которые периодически образуются в гальванических ваннах вследствие неравномерного растворения анодов, так называемого шламления анодов. Образующийся при этом шлам, оседающий на дно ванн, представляет собой твёрдые частицы анодного материала (например, кадмий, никель, цинк и др.). При хромировании с применением свинцовых анодов возможно образование шлама, состоящего из отслоившейся от анодов плёнки диоксида свинца. Гальванический шлам обычно удаляют 2 раза в год. Часто шлам из гальванических ванн смывают совместно с отработанным раствором электролита и подают на очистные сооружения предприятия.

В настоящее время отсутствуют исследования возможности использования гальваношламов, поэтому целью данного исследования является поиск путей утилизации этого отхода гальванического производства с получением товарной продукции.

В качестве объекта исследований был выбран гальваношлам, образующийся в процессе цинкования, т.к. цинковые покрытия занимают первое место по распространенности. Прежде всего, для определения направлений использования этого шлама был исследован его химический и фазовый состав. Для этого на ряде белорусских предприятий были отобраны гальваношламы, образующиеся в гальванических ваннах хлораммонийного цинкования. После высушивания гальваношламов определялся их элементный состав методом электронно-микроскопического анализа на сканирующем электронном микроско-

пе JSM-5610 LV с системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония). Составы гальваношлямов различных белорусских предприятий представлены в таблице.

**Таблица - Элементный состав гальваношлямов из ванн хлораммонийного цинкования различных белорусских предприятий**

Номер предприятия	Содержание элемента, масс.%						
	Fe	C	O	Zn	Cr	Cl	Si
№1	54,51	24,51	14,45	4,37	1,04	0,88	0,24
№2	56,17	22,13	15,89	4,36	0,16	0,92	0,37
№3	55,23	23,87	14,79	3,98	1,11	0,77	0,25

Рентгенофазовый анализ высушенных гальваношлямов, который проводился на рентгеновском дифрактометре D8 Advance Bruker AXS (Германия), свидетельствует об их аморфном состоянии. Это также подтверждается электронными снимками, полученными на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV (рис.)



**Рисунок – Электронный снимок гальваношлама предприятия №1**

Проведенный анализ свидетельствует о высоком содержании железа в гальваношламе, что позволяет предположить возможность его использования для получения железосодержащих пигментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марцунь, В.Н. Некоторые направления использования отходов гальванического производства / В.Н. Марцунь, О.С. Залыгина, Л.А. Шибека, А.В. Лихачева, В.И. // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. – 2012. – №3 (150). – С. 70-75

2. Марцунь, В.Н. Экологические вопросы организации гальванического производства / В.Н. Марцунь, О.С. Залыгина // Экология на предприятии, № 8 (38) , август 2014 г. – С. 34-49.

УДК 661.833.321

Студ. Косевич Е.В., Елец И.Н., Остапук О.Н.  
Науч. рук. ст. преп., к.т.н. И.Ю. Козловская  
(кафедра промышленной экологии, БГТУ)

## **ВЛИЯНИЕ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПОСЫПКИ ДОРОГ НА СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА**

Для предотвращения возникновения противогололедных образований на проезжей части используются твердые (в снежную, слякотную погоду) и жидкие (при сухой погоде) химические вещества. При попадании твердого антигололедного реагента на ледяную поверхность снега или льда, его кристаллы начинают активно впитывать (поглощать) влагу из окружающей среды. При переходе из твердой фазы в жидкую реагент начинает выделять тепло, которое и используется для растопления снега. Образовавшаяся из растопленного снега, льда и реагента масса называется рассолом, имеющим температуру замерзания ниже температуры замерзания воды. Именно раствор антигололедного реагента пока его концентрация такова, растапливает лед и предотвращает возникновение гололедных образований. При этом лучшим является тот антигололедный реагент, который при наиболее низкой температуре расплавит большее количество снега и льда и окажет наименьшее действие на окружающую среду и дорожное покрытие.

Антигололедные реагенты в большинстве состоят из различных солей – хлоридов, хлоратов, гидрохлоридов. Эффективность реагентов повышается за счет антикоррозионных добавок, биофильных компонентов, которые улучшают качество почвы, ускоряющих добавок, которые действуют в условиях экстремальных температур, разрыхлителей. Эффективность противогололедных материалов зависит от температуры замерзания и концентрации растворов, плавящей способности, расхода реагентов, вязкости растворов, коррозионной активности [1].

В Республике Беларусь в качестве антигололедных агентов преимущественно применяют песчано-солевую смесь (соотношение соль : песок 1: 3). С начала зимы, по данным «Горремавтодор», для обработки улиц Минска использовали 31 тыс. тонн соли и 26,5 тыс. тон песчано-гравийной смеси (данные на конец февраля 2018 г.). В перерасчёте на одного жителя Беларуси приходится около 5 кг технической соли в 18 кг смеси за период.

Загрязнение, вызванное дорожной солью, представляет собой



серьезную проблему для окружающей среды. Использование в зимний период в качестве противогололедного реагента хлорида калия ведет к повреждению насаждений, произрастающих вдоль улиц и дорог. Для растений придорожной полосы существует два опасных фактора: непосредственное попадание солей на крону и воздействие на корни в результате таяния и смыва соляного раствора с проезжей части. Хлориды в больших концентрациях токсичны для деревьев и кустарников. Под их влиянием уменьшается количество хлорофилла и возникает некроз тканей. При средней скорости движения автотранспорта вдоль дорог соль поднимается на высоту 15–17 метров и осажается на придорожных растениях. Осевшая на деревьях и побегах соль вызывает их обезвоживание, а при проникновении в ткани – повреждение. Осевшие на деревьях и побегах растений мелкодисперсные солевые частицы вызывает солевой ожог, изменение анатомической и морфологической структуры, изменение физиолого-биохимических показателей, признаками которых являются некрозные пятна на хвое и листе, отставание в росте и развитии, преждевременное опадение листы. Для растений можно выделить два пика воздействия: весенний, когда в марте-апреле активно тает снег, и в июле, когда вода активно поднимается по капиллярам растений. Учитывая физиологию растений, накопленный в придорожных почвах натрий препятствует поглощению влаги [2].

Кроме того, песчано-солевые смеси на основе хлорида натрия являются источником загрязнения почв, влияющим на их свойства путем изменения кислотных и ионообменных свойств органогенных горизонтов, изменения характера естественных миграционных потоков элементов в системе «почва-растение», что снижает возможность усвоения влаги растениями. Следствием применения указанных реагентов является снижение кислотности почвенной среды, увеличение содержания хлоридов до токсичных для растений концентраций, емкости катионного обмена, осмотического давления почвенного раствора, в конечном итоге – загрязнения и засоления почв.

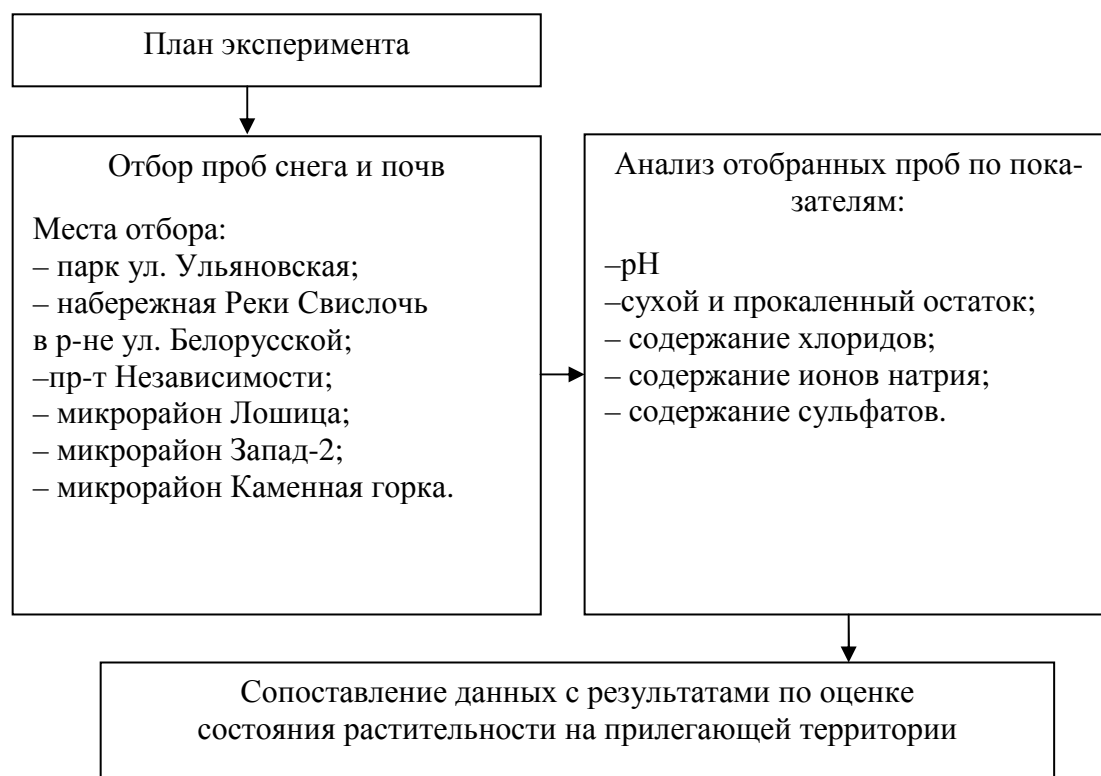
Например, по данным «Минскзеленстрой», содержания ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  на центральных проспектах Минска за зимний период под посадками превышено в 32–47 раз по натрию и 8–18 раз по хлору. В образцах почв, взятых под поврежденными каштанами в г. Бобруйске, обнаружено содержание хлоридов, в несколько раз превышающее ПДК, а в отдельных случаях превышение составляло более 30–40 раз [2].

Целью работы является изучение влияния использования противогололедных агентов на загрязнение почв в г. Минске.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- отбор проб почв и снега в различных районах Минска;
- постановка методик выполнения измерений;
- определение в пробах почв и снега ионов натрия и хлора, сульфатов, сухого прокаленного остатка, рН;
- сопоставление полученных данных с результатами по оценке состояния растительности на прилегающей территории.

План эксперимента представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – План эксперимента**

Работа ведется совместно с общественной экологической организацией «Центр экологических решений».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мосин, О.В. Статья об антигололедных средств / О.В. Мосин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.o8ode.ru/article/krie/noice/article.htm>. – Дата доступа: 03.04.2018г.

2. Судник, А.В. Состояние каштановых насаждений в городах Беларуси / А.В. Судник, В.П. Шуканов, Н.В. Полякова, О.Е. Ефимова // Аналитическая записка. – М., 2011. – 9с.

УДК 666.26

Студ. А.Е. Шецко

Науч. рук.ст. преподаватель к.т.н. А.П. Кравчук  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ГЛУШЕНЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОЙ ПОСУДЫ**

К сортовой посуде относят обширный класс изделий, отличительными свойствами которых являются: высокое качество используемого стекла, удобство в употреблении и изящество оформления. Благодаря высоким эстетическим и эксплуатационным характеристикам, приемлемым ценам устойчивым спросом у потребителей заслуженно пользуется посуда из глушеного стекла.

Глушение стекол может достигаться наличием в стекле пузырьков газа, кристаллов и/или ликвационных капель. Для обеспечения фазового разделения при производстве таких сортовых изделий в составы стекол вводят специальные добавки – глушители: фториды, фосфаты, сульфид цинка, сульфаты, хлориды и др. Преимущественное распространение получили фториды, фосфаты и их комбинации, однако они характеризуются высокой летучестью и оказывают отрицательное влияние на состояние окружающей среды и условия труда на предприятиях.

Целью данной работы являлась разработка составов глушенных стекол, которые не содержат экологически опасных компонентов.

Для синтеза глушенных стекол выбраны составы в области малощелочной боросиликатной системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{RO}(\text{MgO}, \text{CaO}, \text{ZnO})-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , склонные к фазовому разделению (ликвации) в процессе их выработки и формования. Содержание  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  в стеклах поддерживалось постоянным и составляло 4,5; 9,0; 1,5 и 68,0 мас.% соответственно. Существенное влияние на фазовое разделение в малощелочных боросиликатных стеклах оказывают оксиды двухвалентных металлов, содержание которых варьировалось в следующих пределах, мас.%:  $\text{CaO}$  6,0–15,0;  $\text{ZnO}$  0–9,0;  $\text{MgO}$  2,0–11,0,

Синтез опытных стекол осуществлялся в фарфоровых тиглях в газовой стекловаренной печи при температуре 1500 °С с выдержкой 1 ч. Визуальная оценка полученных образцов показала, что стекла хорошо проварились, имеются незначительные включения мошки, крупные пузыри отсутствуют.

Все стекла теряли прозрачность при выработке, что обусловлено развитием в них фазового разделения, которое начинается в области высоких температур при вязкости ниже 20 Па·с и протекает с высокой

скоростью. Согласно результатам рентгенофазового анализа в полученных образцах кристаллическая фаза отсутствует. Это позволяет предположить, что причиной глушения стекол является ликвационно-разделение, которое вызывает возникновение поверхностей раздела фаз, рассеивающих свет.

Наибольшей степенью заглушенности, полной потерей прозрачности и образованием молочно-белой окраски отличаются стекла с высоким содержанием CaO 12–15 мас.%. Замещение CaO на MgO и особенно ZnO в составе стекол приводило к появлению опалесценции. По-видимому, в результате этой замены, увеличивается высокотемпературная вязкость стекол и замедляется процесс формирования и роста ликвационных капель, поэтому стекла после выработки не полностью заглушены и сохраняют свою прозрачность.

Следует отметить, что при термообработке стекол, содержащих наибольшее количество MgO и ZnO, в интервале температур 750–860 °С они приобретают молочно-белую окраску, обусловленную увеличением количества и ростом ликвационных образований.

В результате исследования физико-химических свойств глушенных стекол выявлено, что они характеризуются низким ТКЛР ( $(51,7–60,2) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ ), высокими значениями микротвердости (5747–6070 МПа) и водостойкости (II гидролитический класс).

Введение оксидов ZnO и MgO взамен CaO в составе стекла снижает их ТКЛР и повышает микротвердость. Катионы  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  обладают меньшим ионным радиусом и большей силой поля, чем  $\text{Ca}^{2+}$ , увеличивая степень связанности структурной сетки стекла, что приводит к уменьшению ТКЛР и росту микротвердости стекла.

Таким образом, введение ZnO и MgO для улучшения эксплуатационных характеристик стекол является целесообразным, однако, учитывая отрицательное влияние на степень глушения стекол, ZnO был исключен из их состава, а содержание MgO ограничено 5 мас.%.

Оксиды  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  и CaO оказывают существенное влияние на развитие ликвационных процессов. Оксид бора является ценным компонентом стекол, но требует использования дорогостоящих и дефицитных сырьевых материалов и при этом обладает высокой летучестью, поэтому его содержание желательно минимизировать. Введение оксида  $\text{Na}_2\text{O}$  в состав стекла позволяет улучшить их варочные и выработочные характеристики, но может привести к подавлению фазового разделения, что крайне негативно отразится на глушении стекла.

В этой связи для определения оптимального количества  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  и CaO синтезированы стекла, в составе которых варьировалось содержание оксидов, мас. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  4,5 – 7,5;  $\text{B}_2\text{O}_3$  6,0 – 9,0; CaO 12,0–

15,0 при постоянной концентрации других компонентов, мас. %:  $\text{SiO}_2$  68,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1,5;  $\text{MgO}$  5,0.

В результате проведенных исследований поведения стекол при выработке выявлено, что при замене в их составе  $\text{V}_2\text{O}_3$  на  $\text{CaO}$  область глушенных стекол незначительно сужается. Сильное влияние оказывает введение в состав стекол  $\text{Na}_2\text{O}$  в количестве более 4,5 мас. %, который препятствует глушению и способствует повышению их однородности.

Это подтверждено данными, полученными в результате проведения спектрального анализа. На спектральных кривых имеются характерные для силикатных стекол полосы поглощения в УФ-области спектра 200 – 380 нм и в ближней ИК-области при 1000–1100 нм, которые обусловлены ионами  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ . Вид спектральных кривых значительно стекол меняется при изменении их химического состава. Светопропускание опытных стекол, содержащих оксид  $\text{Na}_2\text{O}$  более 4,5 мас. % взамен  $\text{CaO}$  и  $\text{V}_2\text{O}_3$ , существенно возрастает и достигает 65–70 % в видимой области спектра. При этом в диапазоне 380–500 нм видимой области спектра светопропускание стекол невелико, что соответствует появлению их красноватой окраски. Это явление характерно для стекол при малых размерах и низкой концентрации частиц, обеспечивающих глушение. При повышении содержания  $\text{V}_2\text{O}_3$  до 7–9 мас. % в видимой части спектра наблюдается широкая полоса поглощения, которая обусловлена рассеиванием света на поверхностях раздела, возникших в результате ликвационного разделения. Увеличение размеров и концентрации ликвационных образований обеспечивает отсутствие избирательного поглощения и молочно-белую окраску стекол.

Выявлено, что при введении оксидов  $\text{CaO}$  и  $\text{V}_2\text{O}_3$  взамен  $\text{Na}_2\text{O}$  состав стекол уменьшался их ТКЛР от  $65,63 \cdot 10^{-7}$  до  $60,1 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , повышалась микротвердость от 5535 до 5645 МПа и водостойкость. Замена оксида-модификатора  $\text{Na}_2\text{O}$ , который обуславливает образование немоستيковых атомов кислорода, на  $\text{CaO}$  и оксид-стеклообразователь  $\text{V}_2\text{O}_3$  позволяет существенно повысить степень связанности структурной сетки стекла и улучшить его эксплуатационные характеристики.

Согласно результатам проведенных исследований разработан состав для получения глушеного стекла, который может быть использован при организации механизированного производства сортовой посуды, не содержит токсичных и экологически опасных глушителей, характеризуется формированием молочно-белой окраски при выработке, высокой водостойкостью – II гидrolитический класс, микротвердостью – 5660 МПа и низким ТКЛР –  $60,7 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

УДК 666.11.01:537.311.32

Студ. А.Г. Петуховская

Науч. рук. доц. к.т.н. М.В. Дяденко

(кафедра технологии стекла и керамики БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ, ОСЛАБЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СВЧ-ДИАПАЗОНА**

В настоящее время все более важную роль приобретают стекла с особым комплексом радиофизических характеристик, предназначенные для высокоэффективного поглощения электромагнитного излучения (ЭМИ).

Взаимодействие стекол с электромагнитным полем предопределяет комплекс особых требований к ним: требуемое значение диэлектрической проницаемости, величина поглощения (отражения) электромагнитного излучения радиочастотного диапазона не менее 75 %.

В связи с этим целью работы является разработка составов радиозащитных стекол, обладающих низкой кристаллизационной способностью, требуемым показателем ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона, ТКЛР, составляющим порядка  $(40-50) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , путем подбора оптимального соотношения  $\text{RO}/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$ .

В качестве основы для изучения выбрана система  $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . Выбор обусловлен возможностью синтеза радиозащитных стекол с высокой устойчивостью стеклообразного состояния и требуемым комплексом физико-химических и электрофизических свойств.

Ослабление электромагнитного излучения зависит главным образом от уровня диэлектрических потерь, из которых определяющими являются деформационные потери. Их величина определяется природой оксида-модификатора (однозарядный или двухзарядный), а также их содержанием в составе опытных стекол. В связи с этим в данной работе изучена система  $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , в которой в качестве модификаторов использован оксида бария, при этом его содержание оставалось постоянным и составляло 20 мол. %.

Синтез опытных стекол осуществлялся в газовой пламенной печи периодического действия при максимальной температуре  $(1470 \pm 20) \text{ }^\circ\text{C}$ , с выдержкой при ней 2 ч. По результатам варки установлено, что все стекла характеризуются требуемой степенью осветления, отсутствием непровара и однородностью.

По результатам исследования кристаллизационной способности опытных стекол установлено, что максимальная склонность к кри-

сталлизации характерна для стекол, включающих 45–50 мол. %  $\text{SiO}_2$  и 10 мол. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Следует отметить, что для стекол с постоянным содержанием  $\text{B}_2\text{O}_3$ , равным 10 мол. %, наблюдается уменьшение кристаллизационной способности с ростом содержания оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Возможность использования радиозащитных стекол на практике в различных сферах народного хозяйства зависит от величины их температуры начала размягчения, которая определяет рабочий диапазон использования данного типа стекол. Температура размягчения стекол системы  $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  изменяется в пределах 580–690 °С. Определяющее влияние на температуру начала размягчения стекол оказывает содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Так, с ростом содержания  $\text{SiO}_2$  от 40 до 60 мол. % данный показатель увеличивается от 580 до 690 °С. Для составов стекол с постоянным содержанием  $\text{B}_2\text{O}_3$ , незначительное увеличение температуры начала размягчения наблюдается при замене  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на  $\text{SiO}_2$  в количестве от 40 до 60 мол. %. При этом данный показатель изменяется в среднем на 5 °С. Наиболее оптимальной с точки зрения разработки составов радиозащитных стекол является область, включающая 10–15 мол. %  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

Как известно [1], энергия радиоволны при ее распространении в веществе преобразуется в другие виды энергии, в частности, в электрическую и тепловую. В связи с этим, радиозащитный материал должен иметь высокую термостойкость, которая зависит в первую очередь от температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), и характеризоваться полупроводниковыми свойствами.

ТКЛР опытных стекол изменяется  $41,0 \cdot 10^{-7}$  до  $54,5 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Зависимость ТКЛР стекол системы  $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  от их химического состава показана на рисунке 1.

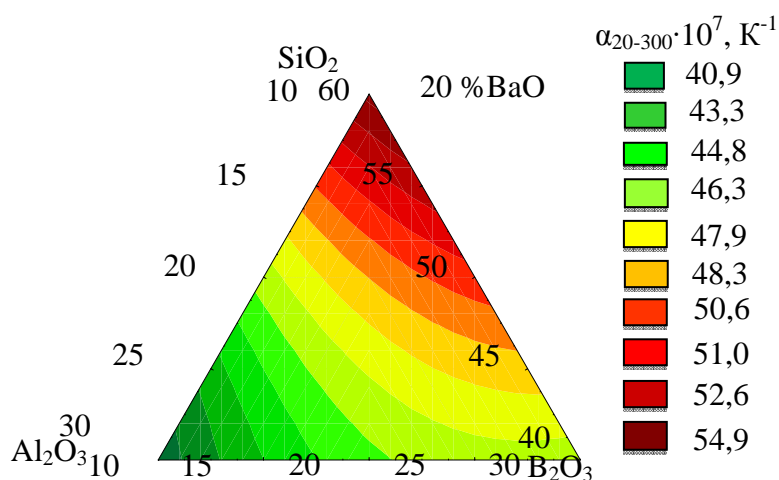


Рисунок 1 – Зависимость ТКЛР стекол от их химического состава

Минимальный показатель ТКЛР характерен для стекол с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , равным 15–20 мол. %. При содержании  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , равном 20 мол. %, по-видимому, соотношение группировок  $[\text{AlO}_4]$  и  $[\text{AlO}_6]$  становится практически одинаковым. А дальнейшее повышение количества оксида алюминия приводит к преобладанию в структуре стекла групп  $[\text{AlO}_6]$ , так как кислорода «поставляемого» оксидами групп  $\text{R}_2\text{O}$ , недостаточно для полного перевода алюминия в четверную координацию. А как известно, алюминий переходит в четверную координацию, если отношение  $\text{R}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ . Алюминий в шестерной координации является модификатором, обуславливая деполимеризацию алюмоборокремнекислородного каркаса и вызывая рост ТКЛР.

С ростом содержания оксида бора, вводимого взамен  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в количестве от 10 до 30 мол. %, ТКЛР опытных стекол уменьшается. Это происходит из-за перехода четырехкоординированного бора в трехкоординированное состояние. Увеличение доли групп  $[\text{BO}_3]$  над группировками  $[\text{BO}_4]$  способствует образованию структурных пустот, наличие которых обуславливает способность структурной сетки «поглощать» расширение за счет изгиба связей [2–4].

Термостойкость опытных стекол изменяется в пределах от 150 до 200 °С. Максимальные показатели термостойкости характерны для стекол, включающих 10–15 мол. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

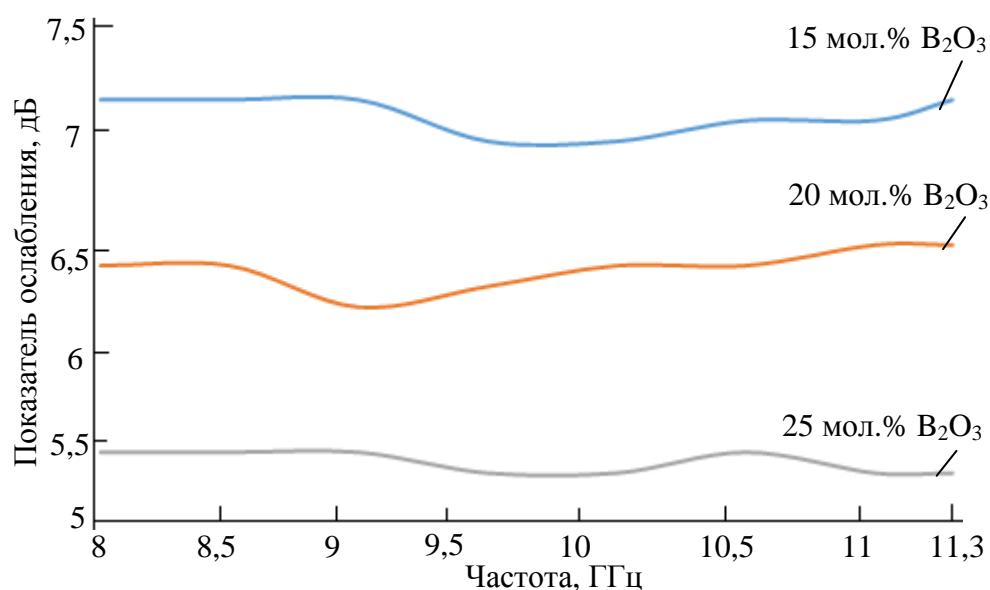
Электрофизические свойства опытных стекол оценивались волноводным методом, который позволяет определить коэффициент стоячей волны, коэффициент отражения и показатель ослабления СВЧ-излучения. Это позволяет оценить исследуемый материал с точки зрения практического использования его в исследуемом диапазоне.

Графическая зависимость показателя ослабления опытных стекол от частоты в диапазоне 8–11,3 ГГц при разном содержании  $\text{B}_2\text{O}_3$  приведена на рисунке 2.

С увеличением содержания  $\text{B}_2\text{O}_3$  от 15 до 25 мол. %, вводимого взамен оксида алюминия, показатель ослабления будет уменьшаться. Это обусловлено преобладанием доли тетраэдрических групп  $[\text{AlO}_4]$  и  $[\text{BO}_4]$  над группировками  $[\text{AlO}_6]$  и  $[\text{BO}_3]$ , усиливающих степень связности алюмоборокремнекислородного каркаса. Для стекол, включающих 15–25 мол. %  $\text{B}_2\text{O}_3$  характер изменения показателя ослабления от содержания данного оксида сохраняется постоянным в области частот 8–11,3 ГГц.

В качестве оптимальной с точки зрения получения радиозащитных стекол выбрана область составов, включающая, мол. %: 15–20  $\text{B}_2\text{O}_3$ , 40–50  $\text{SiO}_2$  и 15–25  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Показатель ослабления стекол указанной области изменяется в пределах от 4,2 до 11 дБ и от 4,5 до 14,0 дБ.





**Рисунок 2 – Зависимость показателя ослабления опытных стекол от частоты в диапазоне 8–11,3 ГГц при различном содержании В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>**

Химическая устойчивость характеризует способность опытных стекол противостоять химическому воздействию влаги, растворов различных реагентов, которые действуют на его поверхность и изменяют его структуру.

Химическая устойчивость стекол определяется его составом: чем ниже доля щелочных оксидов, тем оно более химически стойкое. Все опытные стекла относятся ко II гидролитическому классу.

На основании проведенных исследований для синтеза стекол, значительно ослабляющих электромагнитное излучение и отвечающих в максимальной степени предъявляемым к ним требованиям, могут быть использованы составы с молярным соотношением  $\text{BaO}/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{V}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2)$ , составляющим 0,20–0,25.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев, О.А. Электромагнитные поля и здоровье человека // Энергия: экологические проблемы. – 1999, №5. – С. 3–5.
2. Павлушкин, Н.М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н.М. Павлушкин. – М.: Стройиздат, 1983.– 432 с.
3. Гулоян, Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий / Ю.А. Гулоян. – М.: Владимир: Транзит–Икс, 2003.– 480 с.
4. Аппен, А.А. Химия стекла / А.А. Аппен. М.: Химия, 1974. – 360 с.

УДК 536.46

Студ. В.И. Мухлядо

Науч. рук.ст. препод. к.т.н. Р.Ю. Попов  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ**

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) – экзотермический химический процесс горения, протекающий в автоволновом режиме в смесях порошков и приводящий к образованию полезных конденсированных продуктов, материалов и изделий. СВС представляет собой режим протекания экзотермической реакции, в котором тепловыделение локализовано в узком слое и передается от слоя к слою путём теплопередачи.

Понятие самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) подразумевает процесс реализации экзотермической реакции в смесях химических элементов и соединений, в ходе которой практически отсутствует газовыделение и образуются ценные конденсированные продукты. Достоинство технологии СВС заложено в самом принципе – использование выделяющегося тепла химических реакций вместо нагрева вещества от внешнего источника, поэтому СВ – процессы успешно конкурируют с традиционными энергоёмкими технологиями. Порошковую смесь (шихту) помещают в реактор и в газовой среде производят локальное инициирование процесса (зажигание). Затем происходит самопроизвольное распространение волны горения, охватывающую всю смесь, завершение реакции и остывание синтезированного продукта.

Огнеупорные покрытия, получаемые в режиме СВС, предназначены для защиты от коррозионного влияния различных сред и от воздействия к термическому удару огнеупорных керамических материалов тепловых агрегатов.

Причинами применения СВ – технологии для получения покрытий являются: простота получения защитного слоя; повышение прочности футеровки; увеличение срока службы тепловых агрегатов; возможность ремонта тепловых агрегатов без полной замены футеровки; использование для материалов футеровки более дешёвых огнеупоров, за счёт их защиты при нанесении СВС покрытия; использование выделяющегося тепла химических реакций вместо нагрева вещества от внешнего источника. Достоинством данного метода является способность синтезировать огнеупорную керамику при незначительных

энергетических затратах, необходимых только для инициализации процесса горения.

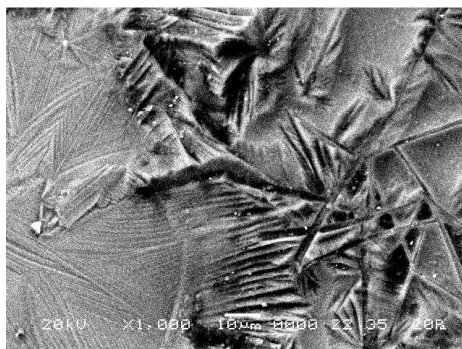
Для большинства составов эта температура составляет 600–900 °С. Обеспечение данного процесса предусматривает использования металлического алюминия или магнезия – металлов, способных поддерживать горение смеси при естественных условиях. Недостатками такого метода являются сложность и быстрота протекания процесса, что не всегда позволяет достигать необходимых результатов. Существенная скорость процесса осложняет возможность его регулирования, а образующиеся при синтезе материала соединения в следствие развития высоких температур, достигающих порой 2000 °С, а также быстроты их образования, зачастую, приводит к нарушению целостности изделий или образованию дефектов в их структуре.

Для приготовления экспериментальных композиций использовались следующие сырьевые материалы: алюминиевая пудра марки ПАП-1 или ПАП-2 (ГОСТ 5494 – 95), глина месторождения «Лукомль-1», натрий кремнефтористый (ГОСТ 87 – 77), оксид железа (III), электрокорунд (ГОСТ 28818 – 90), каолин месторождения «Просняновский» природный, гранитоидные отсева (ГОСТ 8267-93), нефелин-сиенит, бутылочный стеклобой (ГОСТ Р 52233-2004), кроме того в состав в состав вводился отход глазурей, образующийся на ОАО «Керамин». Отмечается, что введение его способствует не только спеканию покрытия, но и насыщению материала  $ZrO_2$ , который может обеспечивать кристаллизацию полезных для прочностных свойств фаз, например, муллита. Важной составляющей массы является кремнефтористый натрий – являющийся активным компонентом смеси, обеспечивающий интенсивное формирование стекловидной фазы совместно с другими компонентами шихты (например, оксидом железа). Сырьевые смеси готовились путём смешения в сухом виде исходных сырьевых компонентов, предварительно взвешенных на весах согласно рецептуре. Перемешивание смесей проводилось в валковой мельнице в течение 15 – 20 мин с использованием фарфоровых мельющих тел. Процесс смешивания производился до получения однородной массы, которая затем просеивается через сито с размерами ячейки 0,1 мм для повышения однородности. В подготовленную массу добавляли связующее, в качестве которого выступало жидкое стекло, а также добавлялась вода. Полученную суспензию с помощью кисти наносили на поверхность очищенного и увлажненного образца огнеупора. Толщина нанесенного покрытия составляла 1 – 2 мм. После сушки в естественных условиях, осуществлялся обжиг в электрических муфельных печах, скорость подъема температуры составляла 150 – 200 °С/ч.

**Таблица 1 – Характеристики теплопроводности покрытий, полученных методом СВ-синтеза**

Характеристика материала	Номер образца					
	1-ГФ	5-ГФ	1-ГЖ	5-ГЖ	3-ГЖ	9-НЖ
Теплопроводность, Вт/м·К (Т=200 °С)	0,456	0,437	0,402	0,400	0,468	0,548

Образцы оптимального состава, полученные по указанной технологии и обожженные при температуре 1150 °С, характеризовались следующим набором свойств: водопоглощение – 16,0 %; открытая пористость – 21,0 %; кажущаяся плотность – 1348 кг/м<sup>3</sup>; твердость по шкале Мооса 8, теплопроводность (Т=200 °С) находится в интервале 0,400-0,548 Вт/м·К. Для оптимальных составов было проведено исследование электронной микроскопии, результаты которой представлены на рисунке 1.



×1000

**Рисунок 1 – Результаты электронной микроскопии оптимального образца, обожженного при температуре 1150 °С**

На некоторых участках покрытий фиксируются четкие формы кристаллической составляющей, что, по нашему мнению, может быть идентифицировано как тридимит – полиморфной разновидности кварца с достаточным характерным габитусом кристалла. Наличие такой составляющей положительно влияет на термомеханические характеристики покрытий. Анализ данных рентгенофазового исследования большинства образцов составов свидетельствует о том, что основными кристаллическими фазами покрытий являются α-кварц (или его разновидности), корунд, гематит, а также целый ряд твердых растворов крипстокристаллической структуры (алюмосиликаты кальция и натрия) по своему химическому составу близкому к плагиоклазу.

УДК 666.11.01:537.311.32

Маг. В.В. Маскевич

Науч. рук. доц. к.т.н. М.В. Дяденко  
(кафедра технологии стекла и керамики БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА**

В настоящее время для общества мощным источником СВЧ-излучения стала мобильная связь. Так, для стандарта GSM 900 диапазон излучаемых частот для мобильных аппаратов составляет 876–915 МГц, для стандарта GSM 1800 – 1,710–1,785 ГГц, для стандарта CDMA – 824–848 МГц, а для стандарта WCDMA – 1,920–1,980 ГГц.

Воздействие на человека электромагнитного излучения и СВЧ-диапазона в частности оказывает пагубное влияние, выражающееся в функциональном изменении деятельности нервной системы (в первую очередь головного мозга), эндокринной системы, появлении свободных радикалов, способствующих повышению вязкости крови, ухудшению памяти, развитию онкологических заболеваний [1–2].

Основными механизмами защиты от СВЧ-излучения является отражение, поглощение и многократное его отражение. К числу радиозащитных материалов относят вспененные материалы, пеностекло, ячеистый бетон, вспененный гипс и стекло. В настоящее время все более важную роль приобретают стекла с особым комплексом радиофизических характеристик для высокоэффективного поглощения либо отражения электромагнитных излучений.

Целью настоящей работы является разработка составов стекол, предназначенных для экранирования излучения радиочастотного диапазона. Взаимодействие стекол с электромагнитным полем предопределяет комплекс особых требований к ним: высокая устойчивость стеклообразного состояния, требуемое значение диэлектрической проницаемости, определенная величина поглощения (отражения) электромагнитного излучения СВЧ-диапазона и термостойкость не ниже 150 °С.

В качестве основы для исследования выбрана система  $RO-B_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$  (где RO – CaO, BaO, ZnO). Выбор системы обусловлен необходимостью разработки составов стекол с высокой устойчивостью к кристаллизации, минимальной величиной температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) и показателем ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона не менее 0,7 дБ/мм.

Синтез опытных стекол производили в газопламенной печи периодического действия при температуре  $1500 \pm 20$  °С. По результатам варки установлено, что все стекла характеризуются требуемой степенью осветления и отсутствием непровара.

Склонность стекол к кристаллизации определяли методом градиентной термообработки в интервале температур 790–1050 °С с использованием электрической печи, в которой создавалась зона со стабильным падением температур.

На основании результатов установлено, что стекла с постоянным содержанием  $Al_2O_3$ , составляющим 10 %<sup>1</sup>, характеризуются отсутствием видимых признаков кристаллизации. Определено, что устойчивость стеклообразного состояния снижается с уменьшением содержания  $SiO_2$  от 45 до 25 %.

Энергия электромагнитной волны при взаимодействии со стеклом может быть преобразована в тепловую и электрическую, в связи с этим, разрабатываемое стекло должно обладать полупроводниковыми свойствами и быть термостойким. Термостойкость определяется в первую очередь величиной температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), который определяли dilatометрическим методом. По результатам исследований установлено, что ТКЛР опытных стекол изменяется от  $32 \cdot 10^{-7}$  до  $64 \cdot 10^{-7}$  К<sup>-1</sup>. Минимальная величина ТКЛР характерна для стекол, включающих 15–25 %  $Al_2O_3$  и 25 %  $B_2O_3$ . Увеличение содержания  $Al_2O_3$  от 10 до 20 % взамен  $SiO_2$ , при постоянном содержании  $B_2O_3$ , равном 25 %, обуславливает уменьшение ТКЛР опытных стекол, что, возможно, обусловлено образованием тетраэдрических группировок  $[AlO_4]_2R^{2+}$ , которые способствуют полимеризации алюмоборокремнекислородного каркаса стекла [3, 4].

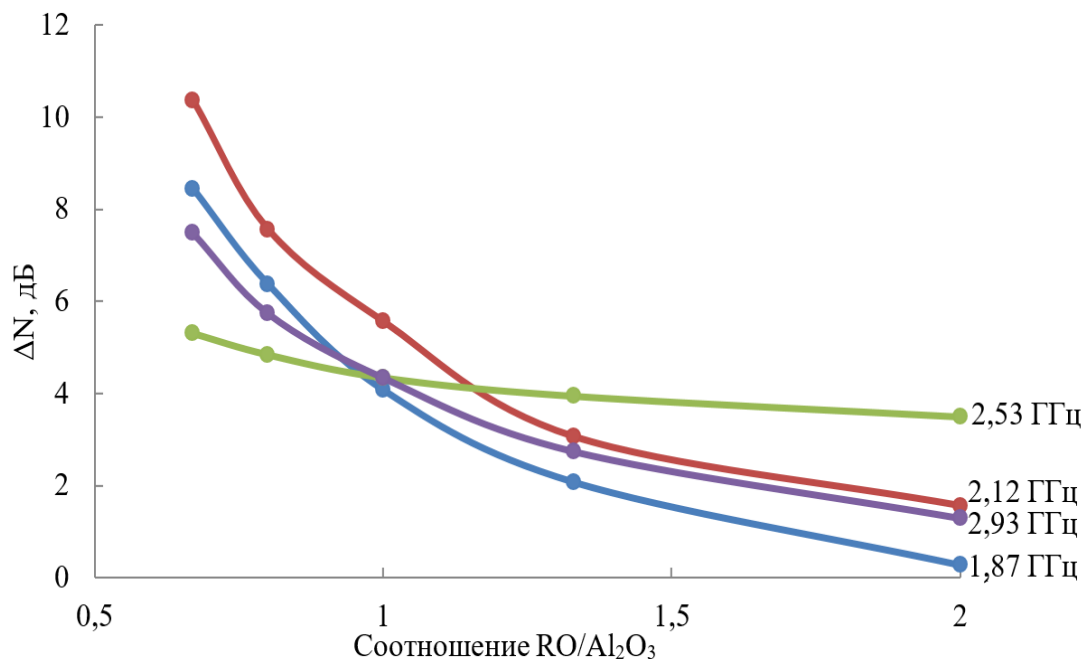
Установлено, что термостойкость опытных стекол изменяется в пределах от 200 до 230 °С.

Радиофизические свойства опытных стекол оценивались волновым методом.

На рисунке представлено влияние соотношения  $RO/Al_2O_3$  на показатель ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона опытными стеклами. Как видно из рисунка, с ростом соотношения  $RO/Al_2O_3$  от 0,67 до 2,00 исследуемый показатель опытных стекол уменьшается. Дело в том, что величина показателя ослабления в СВЧ-области зависит от величины диэлектрических потерь (потерь проводимости, релаксационных и деформационных), которые определяются главным образом его химическим составом и структурой.

---

<sup>1</sup>Здесь и далее по тексту, если не указано особо, приведено массовое содержание, мас. %



**Рисунок – Зависимость показателя ослабления электромагнитного излучения СВЧ-диапазона опытными стеклами от соотношения RO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Влияние химического состава стекла на величину диэлектрических потерь подобно его влиянию на электропроводность: компоненты, увеличивающие электропроводность, повышают и диэлектрические потери в стекле. Поэтому стекла, содержащие щелочные и щелочноземельные оксиды характеризуются повышенными диэлектрическими потерями.

При этом с увеличением частоты прилагаемого электромагнитного поля от 1,87 до 2,12 ГГц показатель ослабления увеличивается, а при изменении частоты от 2,53 до 2,93 – уменьшается.

Коэффициент стоячей волны (КСВ) представляет собой отношение наибольшего значения амплитуды напряженности электрического или магнитного поля стоячей волны и характеризует отражательную способность электромагнитной волны.

Увеличение соотношения RO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 0,5 до 2,0 при постоянном значении частоты электромагнитного поля вызывает незначительный рост КСВ. При этом данный показатель в большей мере зависит от частоты прилагаемого поля. Так, с ее увеличением от 1,87 до 2,53 ГГц КСВ возрастает, а изменение частоты от 2,53 до 2,93 ГГц – вызывает резкое уменьшение данного показателя.

По результатам проведенных исследований был выбран оптимальный состав, который в дальнейшем был модифицирован путем варьиро-

вания содержания оксидов группы RO (CaO, MgO, ZnO). При этом их содержание фиксировалось постоянным и составляло 20 %.

Модифицированные составы стекол характеризуются показателем ТКЛР, изменяющимся от 37 до  $51 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  и термостойкостью – от 225 до 280 °С. По результатам определения радиофизических свойств стекол выявлено, что определяющее влияние на показатель ослабления электромагнитного излучения опытными стеклами и их тангенс угла диэлектрических потерь оказывает оксид MgO. Изменение соотношения ZnO/CaO от 0,33:1 до 1:0,33 обуславливает рост показателя КСВ, в то время как изменение соотношения MgO/ZnO не вызывает изменения данной характеристики.

Параллельно, была проведена модификация оптимального состава стекла, путем замены CaO на BaO.

По результатам исследований теплофизических свойств модифицированных составов стекол, показатели термостойкости снизились в среднем на 35 %. Изучение влияния соотношений оксидов RO на радиофизические характеристики выявило, что изменение соотношения BaO/CaO от 0,67:1 до 1:0,25 вызывает уменьшение тангенса угла диэлектрических потерь, однако, произведенная замена CaO на BaO привела к незначительному увеличению степени ослабления электромагнитного излучения модифицированных составов стекол.

На основании проведенных исследований физико-химических и электрофизических свойств стекол системы RO–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> был выбран оптимальный состав стекла, который характеризуется показателем ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 1–3 ГГц, составляющим 1,11 дБ/мм, КСВ – 0,81 дБ/мм и термостойкостью, равной 270 °С.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ясюкевич, Ю.В. Излучение электромагнитных волн / Ю.В. Ясюкевич, Н.К. Душутин – Иркутск: ИГУ, 2012. – 227 с.
- 2 Худницкий С.С. Особенности воздействия низкочастотных электрических и магнитных полей на человека в бытовых условиях // Электромагнитные поля и здоровье человека: Материалы 2-й междунар. конф. «Проблем электромагнитной безопасности человека», 1999, Москва. – М., 1999. – С. 109.
- 3 Павлушкин, Н.М. Химическая технология стекла и ситаллов / Н.М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
- 4 Гуляян, Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий / Ю.А. Гуляян – Владимир: Транзит-ИКС, 2015. – 712 с.



УДК 666.321:666.635

Студ. Д. С. Белугин

Науч. рук. ст. преп. к.т.н. Р.Ю. Попов

(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЕГКОПЛАВКИХ ГЛИН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Теплоизоляционные материалы характеризуются пористым строением и, как следствие этого, малой плотностью (не более 600 кг/м<sup>3</sup>), а также низкой теплопроводностью (не более 0,18 Вт/(м·К)). Использование таких материалов позволяет уменьшить толщину и массу стен и других ограждающих конструкций, снизить расход основных конструктивных изделий, фундаментов и, соответственно, снизить стоимость возведения объекта. Основной задачей производства ячеистых теплоизоляционных материалов является получение изделий с наибольшей пористостью при достаточной их прочности и термостойкости. Существует много способов формирования пористой структуры. Они основаны на создании условий, способствующих образованию пор в материале. Наибольшую эффективность и распространенность в технологии керамики получили два метода – выгорающих добавок и пенообразования. Первый не позволяет получать материалы с пористостью более 45 %, второй характеризуется достаточной сложностью осуществления, но позволяет получать керамику с пористостью до 85 % и равномерной ячеистой структурой. Основной проблемой получения изделий, по второму способу является невысокая устойчивость пеномассы. В связи с этим весьма актуальной задачей является разработка составов масс ячеистых керамических теплоизоляционных материалов с высокой пористостью, подбор стабилизирующих добавок, обеспечивающих достаточную устойчивость керамического шликера. В качестве пенообразователей традиционно применяют поверхностно-активные продукты нефтепереработки и нефтехимического синтеза, а также природные органические вещества (например, канифольное мыло, сапонин), способные образовывать устойчивые пены. В принципе эту функцию могут выполнять пенообразователи для пожаротушения с истекшим сроком годности и не соответствующие по показателям качества требованиям ТНПА. Согласно данным НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС РБ ежегодное количество образующихся отходов составляет порядка 70–100 т. Как правило, отходы пенообразователей с биоразлагаемостью менее 80 % подлежат сжиганию в специальных печах

химической промышленности или захоронению на полигонах химических отходов. Биологически «мягкие» отходы с биоразлагаемостью более 80 % допускается сбрасывать в производственные сточные воды при разбавлении водой до требуемых значений ПДК<sub>пав</sub>, составляющих 20 мг/л, что создает опосредованную опасность для человека и окружающей среды. В тоже время, наличие таких активных компонентов в сточных водах может приводить к необходимости создания более дорогостоящих очистных установок.

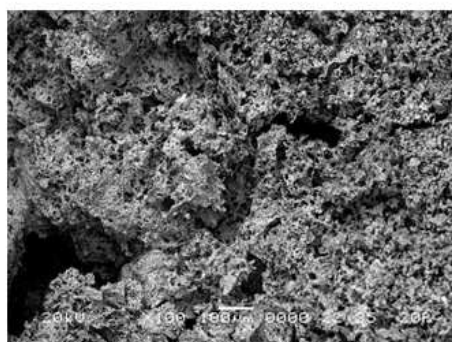
Следует отметить, что не востребуемые в течение установленного срока годности указанные пенообразователи для пожаротушения, сохраняют вполне приемлемые пенообразующие свойства и могут представлять интерес для получения пористой керамики.

В связи с этим, исследования в области получения эффективных теплоизоляционных материалов, и изделий на основе глинистого сырья Республики Беларусь и отходов пенообразователей для пожаротушения являются актуальными, поскольку направлены на импортозамещение, ресурсо- и энергосбережение, а также утилизацию химически активных отходов.

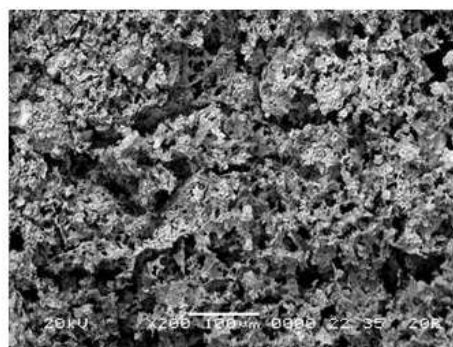
Анализ литературных данных свидетельствует о том, что учеными ведутся активные исследовательские работы в области создания ячеистых теплоизоляционных керамических материалов. Интерес к таким изделиям очевиден и объясняется стремлением создания эффективных конструктивных изделий, позволяющих в значительной степени снизить энергозатраты, увеличить теплоизоляцию агрегатов. Практика показывает, что существует несколько технологий получения пористой текстуры керамических изделий: введение выгорающих добавок и использование пенообразования, либо химического газообразования. При применении первого (выгорающих добавок) возможно использование порошковых и пластических керамических масс, в случае двух других поризация структуры осуществима только при шликерной технологии, предусматривающей применение глинистых суспензий. Указанная технология позволяет получать равномерную ячеистую структуру и обеспечивать высокие эксплуатационные характеристики материалов, чего нельзя достигнуть при методе выгорающих добавок. Теплоизоляционные керамические материалы, полученные по шликерной технологии с использованием пенообразователей, обладают значительной пористостью (более 65–85 %), тем самым обеспечивая высокие теплоизоляционные показатели конструкций. Применение таких материалов в качестве одного из слоев футеровки тепловых агрегатов позволяет снизить потери тепла в окружающую среду от 20 до 70%. При получении ячеистых материалов

традиционно применяются мыло, сапонин и др. компоненты, позволяющие образовывать устойчивые пены. В принципе такую же функцию могут выполнять некоторые отходы, в частности неиспользованные пенообразователи, утратившие свои эксплуатационные характеристики. Наличие таких свойств являются ценными при создании пористой текстуры керамических материалов по шликерной технологии производства. В качестве сырьевых компонентов для изготовления образцов использовались: глина «Заполье», глина «Лукомль», кварцевый песок, отходы керамзитового производства, дегидратированная глина «Заполье», бой кирпича, гипсовое вяжущее марки Г-5, портландцемент М400. Для получения пены использовался пенообразователь для пожаротушения «Барьер-пленкообразующий» с истекшим сроком годности. Получение опытных образцов керамических масс осуществлялось методом шликерного литья. Сухие глинистые компоненты шихты просеивали через сито с сеткой № 05. Отощающие материалы после сушки до постоянной влажности в сушильном шкафу измельчались в фарфоровой ступке до прохождения через сито № 05. Затем, после отмагничивания смешивались с остальными компонентами в соответствии с рецептурой. Пены в лабораторных условиях получались с помощью пропеллерной мешалки. В стакан с водой добавлялось глинистое сырье с отощающим компонентом. После перемешивания в течение 5 мин, в полученную суспензию вводились крепители пен – гипсовое вяжущее марки Г-5 и портландцемент М400 – по 15 % сверх 100 %. Затем добавляли пенообразователь «Барьер-пленкообразующий» в количестве 15 % сверх 100 % (Здесь и далее по тексту приведено массовое содержание, мас. %). Данная смесь взбивалась при помощи пропеллерной мешалки в течение 1 мин. Литье осуществлялось в специальные формы, в которых выполнялась подвялка изделий. Высушивались образцы в естественных условиях, а затем в сушильном шкафу при температуре  $70 \pm 10$  °С до остаточной влажности 1,5–2 %. Обжигались образцы в электрической печи при максимальной температуре 1000, 1050 и 1100 °С. Режим обжига (максимальная температура обжига, скорость подъема и продолжительность выдержки при максимальной температуре) подбирался экспериментальным путем. Средняя скорость подъема температуры составляла 250 °С/ч, выдержка при максимальной температуре – 1 ч.

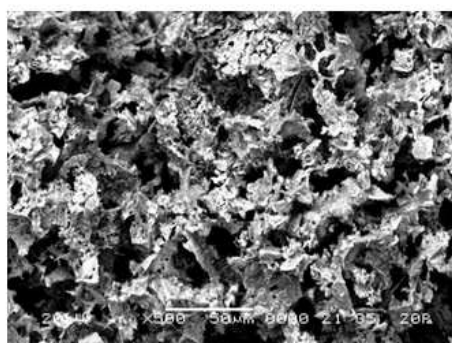
Анализ результатов электронной сканирующей микроскопии позволяет сделать следующие выводы: материал обладает значительной пористостью, форма пор изометричная, поры равномерно распределены по объему материала. Размер пор колеблется в пределах от 500 до 1000 мкм.



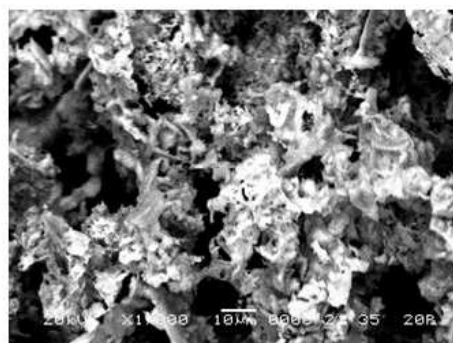
а) (×100)



б) (×200)



в) (×500)



г) (×1000)

**Рисунок 1 – Фотографии поверхности излома опытных образцов, обожженных при температуре обжига 1100 °С**

Микроструктура образцов поликристаллическая, мелкозернистая, текстура однородная. Зерна  $\alpha$ -кварца характеризуются оскольчатой угловатой формой, распределены равномерно. Помимо зерен кварца на микрофотографиях присутствуют примеси железа в виде гематита, наличие которого практически не определяется РФА, что говорит, либо о его малом содержании, либо о незначительных размерах зёрен указанного минерала. С увеличением температуры обжига несколько изменяется окраска материала.

Образцы, полученные на основе оптимального состава обожженного при температуре 1100 °С характеризовались следующими показателями свойств: водопоглощение – 66,88 %; истинная пористость – 74,31 %; кажущаяся плотность – 691 кг/м<sup>3</sup>; механическая прочность при сжатии – 2,75 МПа, коэффициент теплопроводности 0,084– 0,1418 Вт/(м·К). Фазовый состав представлен преимущественно муллитом, кварцем и кристобалитом.

УДК 666.3-135

Студ. Л.В. Кузьбар

Науч. рук. ассист., к.т.н. О.В. Кичкайло  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА ЛИТИЙАЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОТЕРМОСТОЙКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Целью настоящего исследования является разработка керамических литийалюмосиликатных материалов с близкими к нулю значениями температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) для изготовления как конструкционных элементов, способных работать в современных установках (индукторах, печах сопротивления, лазерах, плазмотронах, атомных реакторах и т.п.) в условиях резких температурных перепадов, не разрушаясь при этом и сохраняя высокие эксплуатационные свойства, так и для кухонной посуды, предназначенной для приготовления пищи на любых источниках нагрева.

В ходе работы на основании изученных теоретических и экспериментальных данных были спроектированы и исследованы составы керамических материалов с повышенными термомеханическими характеристиками.

Исследования по синтезу термостойких материалов проводились в следующей системе компонентов: глина огнеупорная – каолин – песок кварцевый – карбонат лития – технический глинозем. В целях активизации процессов спекания литиевой керамики использовались апатитовый концентрат, ортофосфат кальция ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) и ортофосфат магния ( $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ ), которые вводились отдельно в количестве 2, 4 и 6 мас. % сверх 100 мас. % при помоле компонентов. Изготовление изделий осуществлялось по технологии полусухого прессования со шликерной подготовкой массы. Высушенные образцы подвергались обжигу в электрической печи в температурном интервале  $(1100-1200)\pm 10$  °С с выдержкой при максимальной температуре в течение 1 ч.

Опытные образцы, полученные в результате термообработки в диапазоне температур 1100–1200 °С, характеризовались равномерной окраской от бело-молочной до светло-бежевой цветовой гаммы. Качество обожженных образцов было удовлетворительным за исключением составов с добавками апатитового концентрата в количестве 6 мас. % при температуре обжига 1200 °С, характеризующихся незначительной деформацией и оплавлением поверхности. Это можно объяснить тем, что в сырьевых композициях в процессе обжига происходит существенное увеличение общего количества расплава, образуя-

щегося преимущественно на поверхности образцов и, как следствие, возникновение высокотемпературной деформации изделий.

Установлено, что введение добавок  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  и апатитового концентрата в количестве 2, 4 и 6 мас. % оказывает существенное влияние на формирование структуры керамики. При этом показатели усадки изменяются в пределах 2,0–8,5 %. Наименьшими значениями усадки обладали образцы, синтезированные при температуре обжига 1100 °С. Известно, что усадка керамических изделий зависит от состава и физико-химических свойств жидкой фазы. С повышением температуры спекания усадка образцов растет при увеличении количества жидкой фазы и ее накоплении в материале, образуется расплав, который за счет сил поверхностного натяжения более тесно связывает частицы между собой.

В ходе исследований установлено, что при температуре обжига 1100 °С все опробованные добавки не оказывают существенного интенсифицирующего действия на спекание материалов. Показатели спекаемости образцов изменяются незначительно и приблизительно остаются на уровне немодифицированных составов. Снижение водопоглощения опытных образцов происходит при их термообработке при 1200 °С. Минимальное значение водопоглощения достигнуто при введении добавки  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  в количестве 6 мас. % и составило 0,1 %. При введении  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  показатели водопоглощения изменяются в пределах 7,2–14,5 %, а с добавлением апатитового концентрата – 8,3–17,3 %. Можно отметить, что образцы, содержащие технический глинозем, характеризуются более высокими значениями водопоглощения.

Механическая прочность при изгибе материалов, полученных на основе масс исследуемой системы и обожженных при температуре 1100 °С, находится в пределах 7,7–16,0 МПа, при температуре 1150 °С – 9,4–22,8 МПа. Максимальные значения прочности при изгибе характерны для образцов с минимальными значениями водопоглощения и пористости при их максимальной плотности. При температуре обжига 1200 °С наблюдалось повышение механической прочности материалов при изгибе от 12,2 до 35,2 МПа.

Введение  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  способствует росту значений ТКЛР от 0,369 до  $0,925 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  за счет возможного образования некоторого количества стеклофазы, характеризующейся повышенным термическим расширением. Стекла на основе алюмосиликатов лития в противоположность их кристаллическим аналогам имеют весьма высокие показатели ТКЛР, составляющие в зависимости от состава в интервале температур 20–500 °С  $(3,93\text{--}7,70) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Добавка  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , напротив, спо-

способствует снижению показателей ТКЛР до  $1,303 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . При введении апатитового концентрата достигаются наименьшие значения ТКЛР образцов, составляющие  $(0,327-0,615) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Это, по всей видимости, обусловлено максимальной кристаллизацией литийалюмосиликатных кристаллических фаз, имеющих весьма низкое тепловое расширение.

На основании результатов эксперимента выбран оптимальный состав, наиболее удовлетворяющий поставленным задачам. Так, при введении добавки  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  в количестве 6 мас. % синтезированные материалы при температуре обжига  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  характеризовались следующими показателями: пористость 0,2 %, водопоглощение 0,1 %, кажущаяся плотность  $2000 \text{ кг/м}^3$ , ТКЛР  $0,925 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  в интервале температур  $(20-400) \text{ }^\circ\text{C}$ , механическая прочность при изгибе 35,2 МПа, кислотостойкость 97,15 %, щелочестойчивость 96,18 %. Термостойкость образцов составляла более 100 термоциклов.

Изучение фазовых превращений в керамических массах при обжиге с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии позволило установить, что введенная добавка ортофосфата магния способствует снижению температуры образования жидкой фазы. Так, происходит смещение температурного интервала в более низкотемпературную область, отвечающего процессам диссоциации карбонатов и плавления, с  $670-730 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $640-720 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Рентгенофазовое исследование продуктов термообработки модифицированных ортофосфатом магния составов показало, что основная кристаллическая фаза, обеспечивающая высокую термостойкость образцам, представлена  $\beta$ -сподуменовыми твердыми растворами, количество которых увеличивается при повышении температуры обжига от  $1100$  до  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Получение указанной фазы наиболее целесообразно, так как именно она характеризуется низкими значениями ТКЛР, что обеспечивает высокую термостойкость изделий. В качестве сопутствующих фаз присутствуют муллит и корунд.

Электронно-микроскопическим исследованием выявлено, что структура материалов при введении добавки ортофосфата магния в количестве 6 мас. % характеризуется однородностью и значительной плотностью, что в свою очередь приводит к увеличению прочностных свойств разработанных материалов.

Полученные данные свидетельствуют о перспективности и целесообразности использования материалов данной системы, что обеспечивает возможность получения термостойких изделий многофункционального назначения.

УДК 666.3-128

Студ. И.В. Апанасёнок

Науч.рук.асс., к.т.н. А.Н. Шиманская  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМОГРАНИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИРОФИЛЛИТ-КАОЛИНИТОВОЙ ПОРОДЫ**

Керамогранит является современным отделочным материалом, имитирующим природный камень. По техническим и эстетическим характеристикам керамогранит не только не уступает, но и в ряде случаев превосходит натуральные горные породы[1]. Благодаря этому в настоящее время он с успехом применяется как в индустриальном секторе строительства, так и в жилых, общественных помещениях для устройства полов и облицовки фасадов зданий.

В Республике Беларусь для выпуска керамогранита используются, в основном, импортируемые из России и Украины сырьевые материалы (полевые шпаты, пегматиты, огнеупорные глины и каолины), поэтому применение для его производства местных сырьевых ресурсов взамен импортируемых является актуальным.

В связи с этим целью настоящей работы является разработка составов керамических масс для получения керамогранита, обладающего требуемым комплексом физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик, с использованием местных сырьевых материалов, в частности пиррофиллит-каолининовой породы.

Пиррофиллит обладает рядом положительных свойств: химическая инертность по отношению к сильным кислотам и щелочам, высокая термостойкость, диэлектрические свойства, низкое термическое расширение, устойчивый цвет, сохраняющийся при обжиге и другие[2]. Отмеченные свойства позволяют использовать пиррофиллит при производстве большого ассортимента продукции в керамической и огнеупорной промышленности, а также в качестве защитных покрытий и наполнителей. Кроме того, химический состав исследуемых пиррофиллит-каолининовой породы близок к химическому составу огнеупорных глин и каолинов, применяющихся для получения материалов строительного назначения, что с достаточной вероятностью создает предпосылки для их использования в качестве компонентов керамических и огнеупорных масс.

При выборе системы сырьевых материалов за основу взят производственный состав предприятия ОАО «Керамин» (г. Минск, Рес-



публика Беларусь), включающий 35 %<sup>2</sup> огнеупорной глины. Составы керамических масс приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Составы опытных масс**

Название компонента	Индекс состава и содержание компонентов, %										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пирофиллит-каолининовая порода	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	25	30	35
Огнеупорная глина	32,5	30	27,5	25	22,5	20	17,5	15	10	5	0
Остальные компоненты	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65

Для изготовления образцов керамических плиток исходные сырьевые материалы измельчались, подвергались сушке до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре  $(105 \pm 5)$  °С. Приготовление шликера осуществлялось совместным мокрым помолком предварительно отдозированных компонентов в шаровой мельнице марки SPEEDY–1 (Италия) при соотношении материал : вода : мелющие тела, равном 1 : 1,2 : 1,4, до остатка на сите № 0063 не более 2 %. Влажность полученной суспензии составляла не более 38 %, текучесть –  $11 \pm 3$  с, коэффициент загустеваемости –  $1,8 \pm 2$ . Для получения пресс-порошкашликер подвергался термическому обезвоживанию при температуре  $120 \pm 10$  °С. Образцы формовались в виде плиток на прессе GTGabTec<sub>SRL</sub>(Италия), при удельном давлении прессования –  $12 \pm 2$  МПа. Полученный полуфабрикат керамических плиток проходил стадии сушки при температуре  $120 \pm 10$  °С до остаточной влажности 1–3 % и обжига при температурах 1195 и 1210 °С на поточно-конвейерной линии FMS 2950/109,2 в производственных условиях ОАО «Керамин» (Республика Беларусь).

Физико-химические свойства образцов керамогранита изучались в соответствии с ГОСТ 27180–2001. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–300 °С, прочность при изгибе – на прессе GTGabTec<sub>SRL</sub>(Италия). Рентгенофазовый анализ проводился на установке D8 ADVANCE Brucker (Германия). Микроструктура глазурных покрытий исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM–5610 LV с системой химического анализа EDX JED–2201 JEOL (Япония). Дифференциальная скани-

<sup>2</sup> Здесь и далее по тексту, если не указано особо, приведено массовое содержание

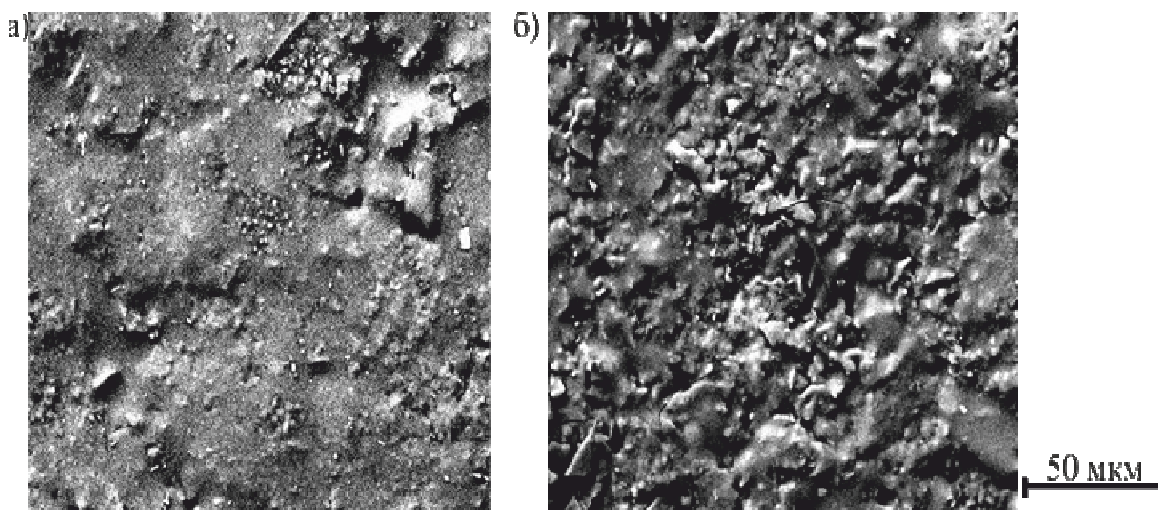
рующая калориметрия (ДСК) осуществлялась на приборе DSC 404 F3 Regasus фирмы Netzsch (Германия).

Обожженные образцы характеризуются равномерной окраской светло-серого цвета, плотной, однородной текстурой. Значения физико-химических свойств образцов керамического гранита приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Физико-химические свойства керамогранита**

Показатели	Значения физико-химических свойств		
	образцов, полученных при температуре:		согласно требований стандарта EN 14411:2014
	1195 °С	1210 °С	
Водопоглощение, %	1,01–10,77	0,08–3,10	Не более 0,5
Открытая пористость, %	2,54–23,92	0,25–6,61	–
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	1870–2360	1910–2440	–
Предел прочности при изгибе, МПа	25,9–51,0	28,5–54,9	Не менее 35
Морозостойкость, циклов	100	100	Не менее 100
ТКЛР $\alpha \cdot 10^6$ , К <sup>-1</sup>	7,95–8,20	7,95–8,20	–

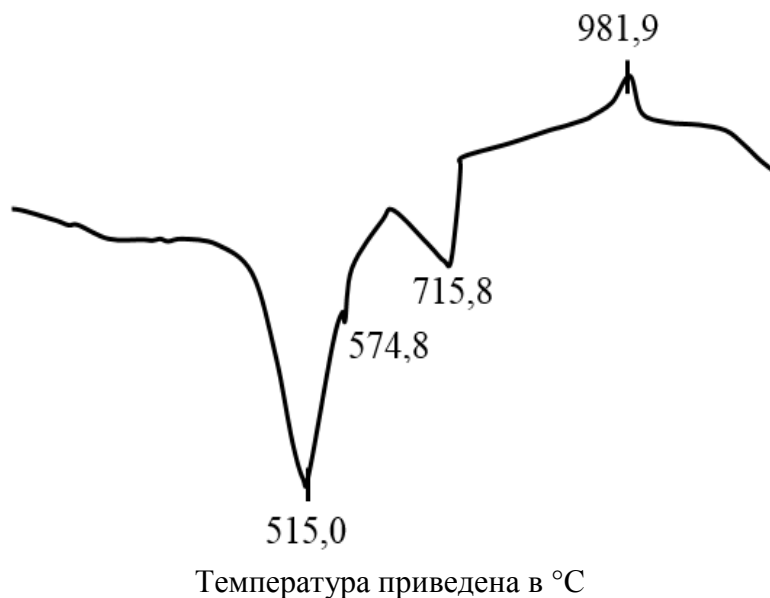
Данные рентгенофазового анализа свидетельствуют о том, что основными кристаллическими составляющими керамического гранита являются муллит и кварц. Структура полученных образцов керамогранита представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Электронная микроскопия образцов керамогранита составов 6 (а) и 11 (б) (×500)**

При нагревании керамической массы оптимального состава наблюдаются эндотермические эффекты в интервалах температур 500–

520 °С, 570–580 °С и 720–740 °С, обусловленные удалением воды из кристаллической решетки глинистых компонентов шихты, полиморфным переходом кварца из  $\beta$ -формы в  $\alpha$ -форму и разложением магнетитовой составляющей доломитовой муки соответственно (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Кривая ДСК керамической массы состава б**

Дальнейшее повышение температуры сопровождается экзотермическим эффектом в интервале 950–1000 °С, соответствующими активному образованию кристаллических фаз, вероятнее всего, муллита.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность получения керамогранита, обладающего требуемым комплексом физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик, с использованием пиррофиллитсодержащей породы. При этом в состав керамической массы целесообразно вводить от 2,5 до 15 % пиррофиллит-каолинита взамен огнеупорной глины, что позволит снизить себестоимость продукции на 3,0–3,5 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Taskirana, M.U. A New Porcelainised Stoneware Material Based on Anorthite / M.U. Taskirana, N. Demirkola, A. Capoglu// Journal of The European Ceramic Society. – 2005. – Vol. 25. – P. 293–300.

2. Каталог ярмарки инновационных разработок «Химическая технология и наноиндустрия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gknt.gov.by/opencms/export/sites/default/ru/Documents/Catalog\\_fair\\_innovation\\_30\\_03\\_2016.PDF](http://www.gknt.gov.by/opencms/export/sites/default/ru/Documents/Catalog_fair_innovation_30_03_2016.PDF). – Дата доступа: 20.02.2018.

УДК 666.635:666.295

Студ. Ю. И. Баравскис

Науч. рук. проф. д. т. н. И.А. Левицкий  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **ПРОЗРАЧНЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОЛУФРИТТОВАННЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ ПЛИТОК ГРЕС**

В настоящее время особенно актуальной является задача получения прозрачных глазурей, предназначенных для использования при декорировании плиток принтерной печатью с целью предохранения рисунка от истирающих воздействий на плитку грес при ее эксплуатации в жилых и служебных помещениях.

В связи с этим целью работы является разработка составов и установление закономерностей структуро- и фазообразования в процессе синтеза прозрачных износостойких глазурных покрытий для керамических плиток типа грес, обладающих требуемыми физико-химическими свойствами и декоративно-эстетическими характеристиками.

В ходе анализа данных литературы выявлено, что в условиях скоростного обжига плиток для полов, с целью направленной кристаллизации фаз с высокой абразивной устойчивостью, целесообразно осуществить синтез полуфриттованных глазурей на основе системы  $MgO-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ . Пределы содержания сырьевых компонентов необходимо подобрать таким образом, чтобы соотношение основных оксидов соответствовало области некристаллизующихся прозрачных глазурных покрытий.

Для производства прозрачных глазурей для плитки грес использовались следующие переменные компоненты: фритта прозрачной глазури, полевой шпат и доломитовая мука. Для синтеза применялась многокальциевая алюмоборсиликатная фритта 2/154 (производственный состав ОАО «Керамин»), вводимый в количестве 36–45 % з. Содержание полевого шпата вишневогорского ПШС–0,02–21 варьировалось в пределах 28–36%. Доломитовая мука вводилась в пределах 1–9 %. В исследованной сырьевой композиции постоянными составляющими являлись каолин КН–83, глинозем НО–105, глина «Веско-Гранитик», кварцевый песок ВС–030–В, суммарное количество которых составляло 25 %.

В качестве электролита в состав глазурной суспензии вводился триполифосфат натрия, вводимый в количестве сверх 100% составляющих глазурей. Глазурный шликер готовился совместным помолом

---

<sup>3</sup> Здесь и далее по тексту приведено массовое содержание (мас. %)

составляющих по мокрому способу в микрошаровой мельнице типа (Speedy, Италия) до остатка на сите 0,056 в количестве 0,3–0,5 %. Влажность суспензии составляла 52–55 %.

Плитка типа грес после сушки покрывалась ангобом производственного состава методом полива, затем с помощью фильер наносился глазурный шликер толщиной 0,6 мм. Полученные образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре  $110 \pm 5$  °С до остаточной влажности не более 0,5 %. Обжиг плиток производился в производственной газопламенной печи RS-1650 ОАО «Керамин» при температуре  $1200 \pm 10$  °С в течение  $43 \pm 5$  мин.

В процессе обжига сформировались блестящие прозрачные и полуглазурные покрытия. Показатели блеска синтезированных глазурей замерены с помощью блескомера ФБ-2. В качестве эталона использовалось увиолевое стекло. Значения блеска покрытий изменялись в пределах от 53 до 69 %. Преобладают покрытия с сильным блеском и прозрачной блестящей поверхностью.

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных глазурей измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–400 °С. ТКЛР опытных покрытий составил  $(58,2–67,0) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$  при значениях ТКЛР керамического черепка –  $(79–80) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ , что свидетельствует о нахождении глазури в состоянии сжатия.

Микротвердость глазурных покрытий измерялась на приборе Wolpert Wilson Instruments (Германия) с автоматической обработкой данных. Как показали исследования, микротвердость синтезированных глазурей изменялась в пределах 5241–6215 МПа в зависимости от содержания составляющих глазурь компонентов.

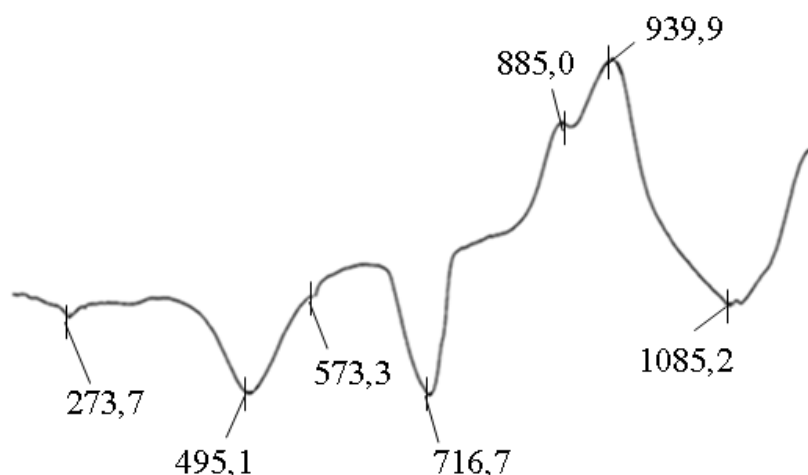
Термическая стойкость глазури определялась по ГОСТ 27180. В результате эксперимента все глазурные покрытия оказались термически стойкими при температуре 150 °С.

Химическая стойкость глазури исследовалась по методике ГОСТ 27180. Все глазурные покрытия обладали устойчивостью к раствору № 3.

Испытание образца покрытия оптимального состава на износостойкость проводилось в условиях ОАО «Керамин» по ГОСТ 27180. Образец обладает 2-ой степенью износостойкости.

По данным исследования фазовых превращений в глазурных массах фиксируется ряд термических эффектов.

На рисунке 1 приведены кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), снятые в интервале температур 200–1200 °С для оптимального состава.



Температура приведена в °С

**Рисунок 1 – Кривая ДСК глазурного покрытия оптимального состава**

На кривых ДСК отмечается два эндоэффекта с минимумами при 265,7–273,7 и 299,0°C, обусловленные удалением сорбированной влаги из глинистых материалов. Эндотермический эффект с минимумом при 493,1–495,1 °С связан с удалением химически связанной влаги из глинистых минералов.

С повышением температуры на кривых ДСК фиксируется эндоэффект при 573,0–573,3 °С, связанный с модификационным переходом из  $\beta$ -кварца в  $\alpha$ -кварц.

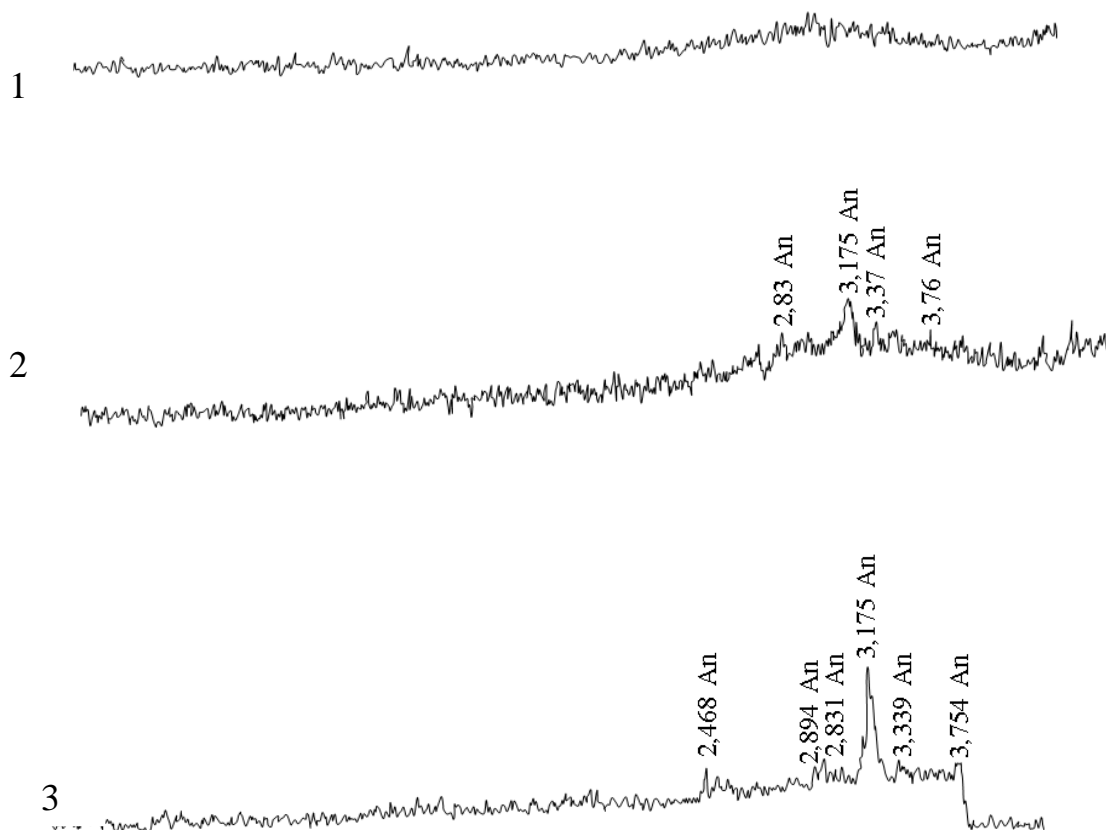
В интервале температур 700,4–716,7°C отмечаются эндотермические эффекты, обусловленные разложением карбонатов по реакции  $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$  из доломитовой муки, а также размягчением фритты.

При температуре 885,0–889,0°C наблюдается эндоэффект по причине разложения кальцита, вносимого доломитовой мукой по реакции  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ .

Экзотермический эффект при температуре 934,1–939,9°C показывает, что при данной температуре может происходить частичная кристаллизация покрытия.

Эндоэффект с минимумом при 1085,2–1085,9°C наблюдается вследствие стеклофритты.

Дифрактограммы исследуемых глазурных покрытий, сняты на установке D8 ADVANCE Brucker (Германия), представлены на рисунке 2.



1 – некристаллизующееся покрытие, 2, 3 – покрытие с признаками кристаллизации

**Рисунок 2 – Дифрактограмма глазурных покрытий оптимальных составов**

В некоторых исследованных глазурных составах обнаружено наличие фазы анортита, что практически не вызывает глушение разработанных покрытий. Это обусловлено тем, что анортит имеет показатель преломления 1,57–1,588.

Проведенные исследования глазурных покрытий в условиях ОАО «Керамин» показывают реальную возможность синтеза прозрачных глазурных покрытий, отличающихся высокой прозрачностью и требуемой износостойкостью. Глазури не изменяют цвет применяемых пигментов, обладают требуемой химической и термической устойчивостью.

УДК 666.1.001.5

Студ. А.И. Гончар

Науч. рук. доц. к.т.н. Л.Ф. Папко

(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКЛОГЕРМЕТИКОВ ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) – устройства для получения электрической энергии, в которых осуществляется прямое преобразование внутренней энергии топлива в электричество. Электролитом в них является керамический материал, проницаемый для ионов кислорода. На их основе создаются высокоэффективные и экологичные энергетические установки.

Проблема склейки и герметизации топливных элементов является сложной технологической проблемой, решение которой зависит от конструкции ТОТЭ и применяемых материалов. Это связано в первую очередь с высокой рабочей температурой ТОТЭ (600–1000 °С). Разработка стеклогерметиков ведется на основе стеклообразующих систем различного типа [1–3].

Задачей настоящего исследования является разработка стеклогерметиков, которые по технологическим и термомеханическим характеристикам должны обеспечивать прочную герметичную склейку трубчатых ТОТЭ. Температура склеивания элементов может достигать 1050–1100 °С, рабочая температура – 800–950 °С. Стеклогерметик должен обладать термическим коэффициентом линейного расширения (ТКЛР), согласованным с ТКЛР циркониевой керамики (электролита) и жаростойкого металла (интерконнектора), сохранять стабильность состава и свойств при рабочей температуре в окислительных и восстановительных условиях, исключать химическое взаимодействие с материалом электролита и интерконнектора.

Разработка стеклогерметика ТОТЭ проводилась на основе систем  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}(\text{CaO})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  при содержании компонентов, мол. %:  $\text{SiO}_2$  35–55;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  5–20; RO 15–40, где RO – MgO, MgO+CaO, SrO. В качестве добавок с целью регулирования технологических свойств, в том числе кристаллизационной способности, в количестве не более 5 мол. % вводились  $\text{V}_2\text{O}_5$ , ZnO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ .

Синтез стекол проводился в газовой пламенной печи периодического действия при температуре 1400–1450 °С в корундовых тиглях. Стронцийсодержащие расплавы проявили повышенную агрессивность по отношению к огнеупорному материалу.



Кристаллизационная способность стекол оценивалась по результатам градиентной термообработки в интервале температур 650–1100 °С с выдержкой в течение 15–60 мин. Стекла системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}(\text{CaO})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  имеют склонность к объемной кристаллизации. Скорость процессов кристаллизации возрастает с ростом содержания модификаторов, что проявляется в расширении температурного интервала кристаллизации. Стекла системы  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  с добавками проявляют склонность к поверхностной кристаллизации.

Для апробации опытных стекол в качестве герметика ТОТЭ суспензия порошка стекла с размером частиц менее 40 мкм наносилась на керамическую подложку. Обжиг образцов проводился в электропечи при температурах 1050 и 1100 °С в течение 20 мин.

На основе стекол системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}(\text{CaO})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  получены стеклокристаллические материалы с плотной структурой. По данным рентгенофазового анализа, проводимого с помощью установки ДРОН-3, основными фазами, выделяющимися в стеклокристаллических материалах, являются геленит  $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{SiAlO}_7]$ , диопсид  $\text{MgCa}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ , нефелин  $\text{Na}[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]$  и энстатит  $\text{Mg}[\text{SiO}_3]$ . В стеклокристаллических материалах на основе системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  выделяется нефелин и диопсид, с повышением содержания  $\text{CaO}$  и снижением  $\text{Na}_2\text{O}$  – геленит и диопсид. В результате исследования микроструктуры стеклокристаллических материалов, которое проводилось с помощью настольного сканирующего микроскопа с системой химического микроанализа PhenomXL, стеклофаза обогащена оксидом натрия. Низкая вязкость остаточной стеклофазы обеспечивает хорошую растекаемость стеклокристаллического материала по керамической подложке.

При обжиге порошкообразных образцов стекол системы  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  за счет развитой поверхности раздела обеспечивается объемная кристаллизация. Плотные стеклокристаллические материалы получены при обжиге образцов с пониженным содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . С повышением содержания данного компонента до 20 мол.% возрастают вязкость и поверхностное натяжение стеклофазы, поэтому в процессе обжига формируется пористая структура стеклокристаллических материалов.

Основной кристаллической фазой стеклокристаллических материалов, полученных на основе стекол системы  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , является стронциевый алюмосиликат  $\text{Sr}[\text{Al}_2\text{SiO}_8]$ . Введение в качестве добавки  $\text{TiO}_2$  обуславливает выделение рутила.

Выбор оптимальных составов проводился по показателям ТКЛР стеклокристаллических материалов. Для определения ТКЛР из по-

рошков стекол формовали образцы, которые обжигали при температуре 1050°C в течение 20 мин.

Стеклокристаллические материалы на основе системы  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  имели показатели ТКЛР, составляющие  $(72-94) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

ТКЛР стеклокристаллических материалов на основе стекол системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  изменялся в диапазоне  $(74-114) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  и определялся их фазовым составом, а также соотношением кристаллической и аморфных фаз. При выделении нефелина и энстатита в стеклокристаллических материалах на основе системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  показатели ТКЛР составляют  $(74-98) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . При выделении нефелина и диопсида в материалах на основе стекол системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  достигаются более высокие показатели ТКЛР стеклокристаллических материалов –  $(94-114) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

Определены составы стеклокристаллических материалов на основе системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , которые характеризуются высокими значениями ТКЛР, составляющими  $(100-107) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , что является условием согласования по термическим свойствам с материалами ТОТЭ. Активная кристаллизация стекол в процессе обжига при формировании спаев обуславливает стабильность термических свойств материала при рабочей температуре.

Таким образом, по результатам исследования стекол систем  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}(\text{CaO})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  разработаны стеклокристаллические материалы, которые по технологическим и термическим свойствам могут быть использованы в качестве стеклогерметика твердооксидных топливных элементов. Температура формирования спаев на основе порошков стекол составляет 1050°C, ТКЛР стеклогерметиков  $(100-107) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gurbinder Kaur. Solid Oxide Fuel Cell Components. Interfacial Compatibility of SOFC Glass Seals. – Springer International Publishing Switzerland, 2016. – 408 p.

2. Tulyaganov Dilshat U. Aluminosilikatebaset sealants for SOFCs and other electrochemical applications – A brief review / Dilshat U. Tulyaganov [and etc.] // Journal of Power Sources. – 2013. – №42. – P.486–502.

3. High-temperature glassy-ceramic sealants  $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{BaO}-\text{MgO}$  and  $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{ZrO}_2-\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}$  for solid oxide electrochemical devices / Qi1 S. [and etc.]. // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. – 26(2016). – P. 2916–2924.

УДК 666.295.4

Студ. Е.А. Ерш

Науч. рук. проф. д.т.н. И.А. Левицкий  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА**

Одним из перспективных направлений в области получения декоративных покрытий керамических плиток является разработка составов глазурей, обладающих эффектом металлизации. В связи с этим целью исследования является получение блестящих металлизированных глазурных покрытий для керамогранита, обладающих физико-химическими свойствами и декоративно-эстетическими характеристиками, которые соответствуют требованиям ГОСТ 6787; выявление взаимосвязи структурных особенностей получаемых глазурей и их физико-химических свойств от химического состава сырьевой композиции.

Сырьевая композиция для получения металлизированных глазурей включала, %<sup>4</sup>: многокальциевую алюмоборосиликатную фритту 2/154 (производственный состав, применяющийся на ОАО «Керамин», г. Минск, Республика Беларусь) в количестве 22,5–32,5; оксид меди (II) – 10,0–17,5; полевой шпат – 25,0–30,0; содержание остальных компонентов (оксид железа(III), глинозем, доломитовая мука, огнеупорная глина, кварцевый песок) не изменялось и в сумме составляло 35 %.

Глазурный шликер готовился совместным мокрым помолом компонентов глазурной шихты в шаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сите № 0063 в количестве 0,1–0,3 % при соотношении материал : мелющие тела : вода, составляющим 1:1,5:0,5. Полученная суспензия влажностью 50±1 % наносилась на высушенный до влажности не более 0,5 % и покрытый ангобом полуфабрикат керамогранита. Заглазурированные опытными составами образцы подвергались обжигу в газопламенной печи типа FMS-2500 (Италия) при температуре 1200±5 °С в течение 50±2 мин в производственных условиях ОАО «Керамин», поскольку в лабораторных условиях воспроизвести требуемый температурно-временной режим термообработки является проблематичным.

Исследование включало определение цвета покрытий по 1000-цветному атласу ВНИИ им. Д.И. Менделеева, блеска на фотоэлек-

---

<sup>4</sup> Здесь и далее по тексту, если не указано особо, приведено массовое содержание, мас. %

тронном блескомере ФБ–2 (Россия) с использованием в качестве эталона увиолевого стекла. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных глазурей измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–400 °С, микротвердость – на приборе WolpertWilsonInstruments (Германия). Исследование рентгенофазового анализа проводилось на установке D8 ADVANCE Bruker (Германия). Микроструктура глазурных покрытий исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM–5610 LV с системой химического анализа EDX JED–2201 JEOL (Япония). Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) осуществлялась на приборе DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия).

Визуальная оценка показала, что в исследуемой системе сырьевых материалов формируются качественные покрытия серовато-черного цвета с эффектом металлизации (рисунок 1).

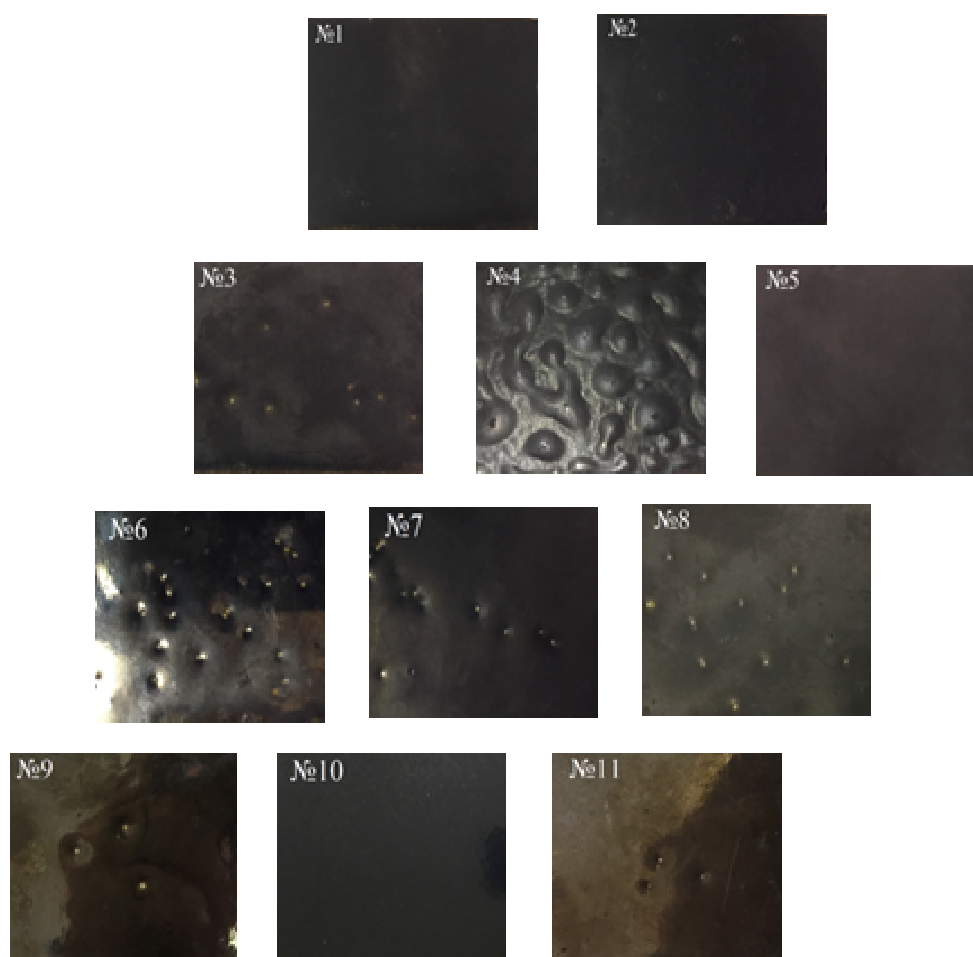


Рисунок 1 – Внешний вид синтезированных глазурей

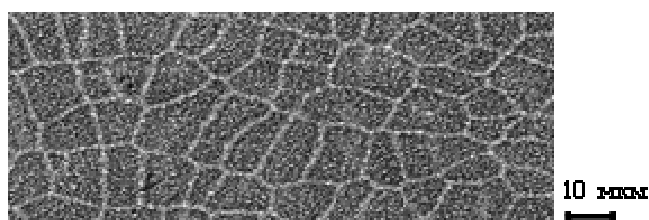
Значения физико-химических свойств глазурных покрытий измерялись в соответствии с ГОСТ 27180-2001 (таблица).

**Таблица – Физико-химические свойства металлизированных глазурей**

Свойства	Показатели свойств покрытий
Фактура поверхности	Матовая, полуматовая, блестящая
Блеск, %	5–100
Микротвердость, МПа	5800–8200
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^7, \text{K}^{-1}$	58,7–72,1
Термическая стойкость, °С	150
Химическая стойкость	Химически стойкие
Степень износостойкости	1

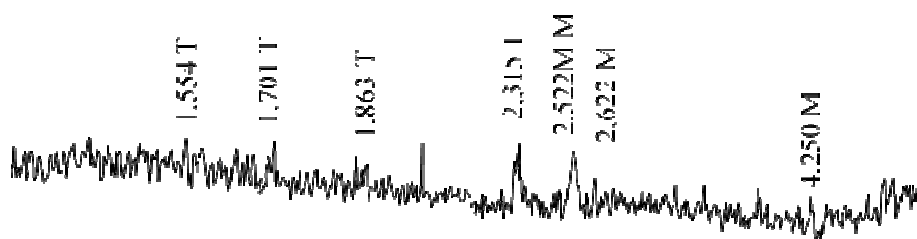
В результате проведенных исследований в качестве оптимального глазурного покрытия выбран состав 10 (рисунок 1), характеризующийся следующим комплексом физико-химических свойств: блеск – 100 %; ТКЛР  $-72,1 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ ; микротвердость – 6600 МПа; термическая стойкость – 150 °С; химическая стойкость – стойкий к раствору № 3 (ГОСТ 27180–2001); степень износостойкости – 1.

С помощью рентгенофазового анализа и электронной микроскопии выявлено, что в синтезированные глазурные покрытия обладают стеклокристаллической структурой (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Электронно-микроскопический снимок глазури оптимального состава ( $\times 1000$ )**

В них присутствуют следующие кристаллические фазы: тенорит (CuO) и маггемит ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) (рисунок 3).

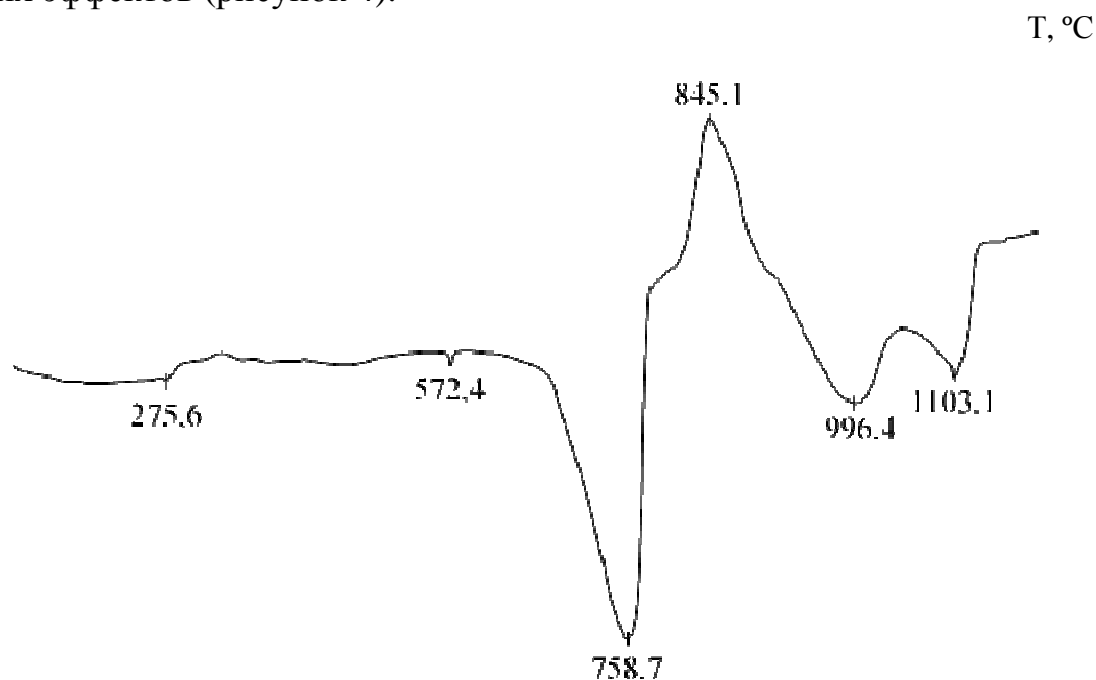


T – тенорит, M – маггемит, межплоскостные расстояния приведены в нм

**Рисунок 3 – Дифрактограмма глазури оптимального состава**

Установлено, что преобладающей кристаллической фазой в глазурных покрытиях является тенорит, который и придает им темно-серый цвет.

При исследовании фазовых превращений в глазурной композиции оптимального состава при нагревании фиксируется ряд термических эффектов (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Кривая ДСК глазурной композиции оптимального состава**

Так, на кривой ДСК наблюдается эндоэффект при 275 °С, связанный с удалением химически связанной воды. Эндотермический эффект с минимумом при 572,4 °С обусловлен модификационным переходом  $\beta$ -кварца в  $\alpha$ -кварц. Также на ДСК фиксируются эндоэффекты с минимумами при 758,7 и 996,4 °С, которые, по нашему мнению, характеризуют процесс диссоциации карбонатов магния и кальция, входящих в состав доломитовой муки, соответственно.

При температуре 845,1 °С наблюдается экзотермический тепловой эффект, который свидетельствует о протекании кристаллизационных процессов. Анализ также показал наличие эндотермического эффекта при температуре 1103,1 °С, который связан с плавлением компонентов шихты.

Проведенные испытания в заводских условиях ОАО «Керамин» показали возможность использования разработанных покрытий в условиях промышленного производства по существующей технологии приготовления и нанесения глазурей.

УДК 615.014.083

Студ. В.А. Карпова

Науч. рук. доц. к.т.н. И.М. Терещенко  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## СОСТАВЫ МЕДИЦИНСКИХ СТЕКОЛ С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ $V_2O_5$

Преимуществами стеклянной тары перед другими видами тары, обусловившими ее широкое применение в медицине, являются гигиеничность, прозрачность, возможность производства разнообразных объемов и массы, герметичность укупорки, доступная цена. Обязательным компонентом в составе медицинского стекла считается оксид бора, вводимый в состав стекол весьма дорогим, дефицитным для РФ и неудобным в использовании сырьем – борной кислотой.

Перед стекольной промышленностью ставится задача полностью удовлетворить потребность республики в медицинском тарном стекле, обеспечить предприятия республики по производству медикаментов современной медицинской тарой, и тем самым повысить конкурентоспособность их продукции на международном рынке, на 20–25 % снизить потери в производстве медикаментов, возникающие от использования низкокачественной медицинской стеклотары производства РФ, Украины и стран Восточной Европы.

Целью данной работы является оптимизация составов медицинских стекол на основе многокомпонентной системы  $Na_2O-K_2O-RO-Al_2O_3-V_2O_5-SiO_2$  с целью снижения содержания оксида бора, при сохранении высоких показателей по водо- и щелочеустойчивости и удовлетворительных технологических характеристиках.

Оксид бора, с одной стороны, сообщает стеклу ряд ценных свойств: понижает температуру плавления и вязкость, уменьшает тепловое расширение, поверхностное натяжение и склонность к кристаллизации, увеличивает термостойкость, химическую стойкость, улучшает механические свойства [1]. С другой стороны, несмотря на то, что  $V_2O_5$  повышает химические и технологические свойства, что весьма важно для производства изделий из медицинского стекла, он является сложным компонентом в технологическом плане, чему способствуют следующие факторы:

- высокая летучесть;
- агрессивность расплава;
- высокая стоимость шихты;
- нестабильность процесса формования стеклотрубки, высокая степень дефектности.

С другой стороны, высокое содержание оксидов щелочных металлов отрицательно повлияет на химическую устойчивость изделий из медицинского стекла. В связи с тем, что химическая устойчивость является важнейшим свойством изделий медицинского назначения, содержание оксидов Na и K необходимо снижать и добавлять оксиды щелочноземельных металлов, поскольку они затрудняют диффузию щелочных ионов с поверхности изделия в находящиеся в них лекарственные препараты за счет того, что они занимают полости структуры, не давая щелочным ионам мигрировать [2].

Эти факторы являются определяющими в решении снизить содержание  $B_2O_3$  в составах медицинских стекол. Однако при снижении содержания  $B_2O_3$  в составах медицинских стекол будет снижаться и химическая устойчивость стеклоизделий. Поэтому при уменьшении содержания в стеклах оксида бора до 3–5 мас. %, а это основная задача исследования, целесообразно компенсировать его нехватку за счет изменения содержания щелочноземельных компонентов (CaO, MgO и BaO), а также введения в состав такого оксида как ZnO.

Для исследования была выбрана система  $Na_2O-K_2O-RO-Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2$ , где  $RO-MgO, CaO, BaO, ZnO$ . На основании системы, для синтеза стекол была выбрана область составов, ограниченная содержанием компонентов, мас. %:  $B_2O_3$  2,0–8,0, CaO 0–6,0, ZnO 0–6,0, причем содержание остальных оксидов оставалось постоянным (рис. 1).

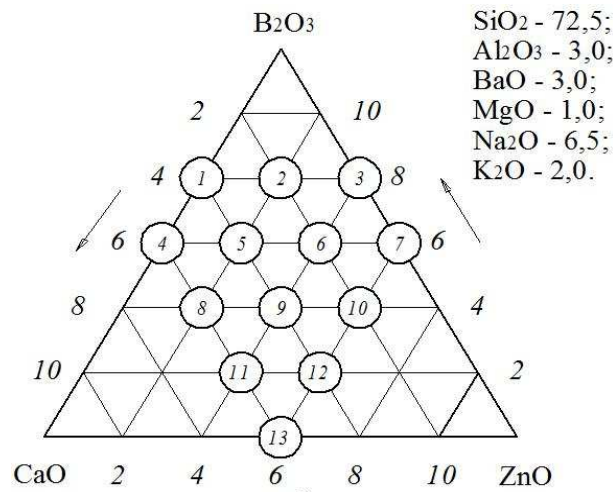


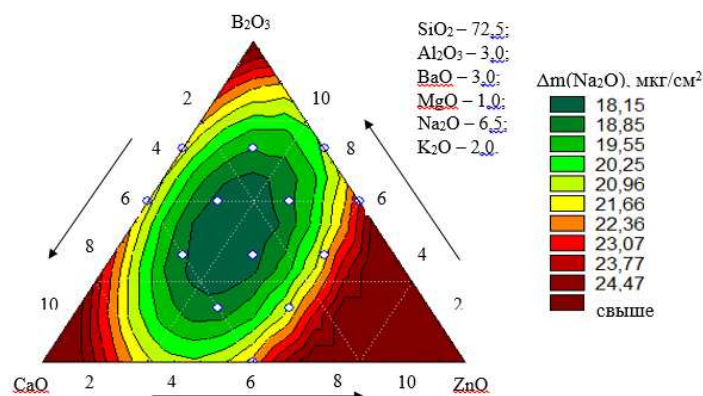
Рисунок 1 – Составы опытных стекол, мас. %

Стекла с большим содержанием CaO, который является плавнем, оказались менее вязкими, чем остальные. При изучении кристаллизационной способности стекол, составы имеющие высокое содер-



жание  $B_2O_3$ , который снижает кристаллизационную способность, и низкое содержание  $CaO$ , увеличение содержания которого приводит к росту кристаллизационной способности стекол, характеризуются отсутствием кристаллизации (составы № 2, 3, 6, 7, 9, 11) в интервале  $1100-700\text{ }^\circ\text{C}$ , что облегчает процесс формования.

Зависимость химической устойчивости синтезируемых составов от содержания оксида бора в составе приведена на (рис. 2).



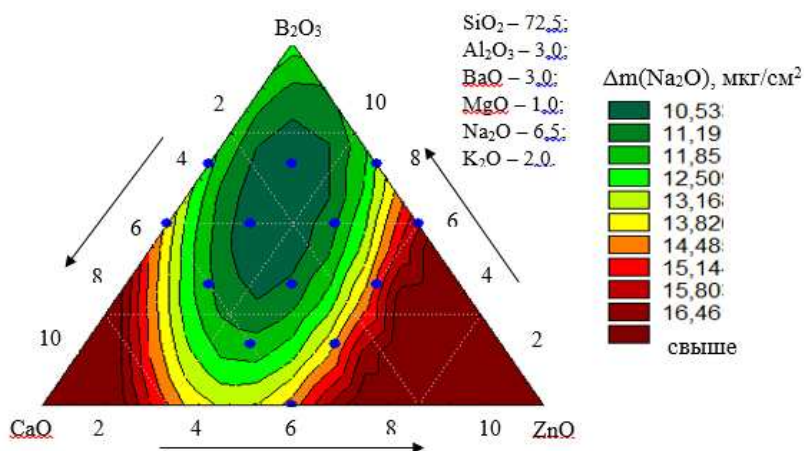
**Рисунок 2 – Зависимость водоустойчивости исходных стекол от химического состава, мас. %**

Как следует из рисунка 2 по значениям потерь массы, можно четко выделить область составов с минимальным выщелачиванием образцов порядка  $14-20\text{ мкг}$  с  $1\text{ см}^2$  поверхности образца. Следует отметить, что определяющим параметром по потере массы является содержание  $B_2O_3$ . Чем выше содержание оксида бора, тем меньше потери массы при обработке образцов в автоклаве. Данные результаты подтверждают то, что  $B_2O_3$  увеличивает химическую устойчивость стекла в большей степени, нежели остальные компоненты [3].

Влияние термохимической обработки на исходные образцы представлена на рис. 3.

При изучении влияния термохимической обработки в 5 %-ном растворе  $(NH_4)_2SO_4$ , с целью снижения потерь массы, на исходные образцы установлено, что наблюдается улучшение химической устойчивости стекол. Это связано с тем, что при воздействии температуры на образец, слабосвязанные щелочные ионы перемещаются вглубь образца, т.е. в направлении обратном от повышенных температур. Вследствие данного перемещения щелочных ионов химическая стойкость цельных изделий немного повышается. Однако при использовании в качестве образцов полых изделий будет наблюдаться обратный эффект, а именно слабосвязанные щелочные ионы при воздействии высоких температур будут перемещаться поближе к внутренней по-

верхности, и как следствие приведет к падению химической устойчивости [4].



**Рисунок 3 – Зависимость водоустойчивости стекол с модифицированной поверхностью от химического состава, мас. %**

В целом результаты показали, что у стекол с модифицированной поверхностью водоустойчивость в среднем в 2 раза выше по сравнению с необработанными стеклами. Составы, находящиеся в середине треугольника, имеют высокие показатели водоустойчивости и соответствуют I гидролитическому классу.

Химическая устойчивость промышленного состава ХТ-1 несколько хуже, нежели синтезируемых составов № 9 и 11. Стоит отметить, что разница в водостойкости сравниваемых образцов незначительна. В целом можно сделать вывод, что существует возможность получать медицинские изделия ответственного назначения на основе составов с невысоким содержанием оксида бора при условии обязательной термохимической обработки изделий из них.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая технология стекла и ситаллов: учебник для вузов / Артамонова М.В.[и др.] под ред. Н.М. Павлушкина. – М: Стройиздат, 1983. – 432 с.
2. Чуешов, В.И. Технология лекарств промышленного производства/ В.И. Чуешов, Е.В. Гладух. – Винница: Нова Книга, 2014. – 658 с.
3. Щелочеустойчивое медицинское стекло: пат. 16886 Республика Беларусь, МПКС03С4/20, С03С3/093/ С.В. Гончаров, И.М. Терещенко, А.П. Кравчук, И.А. Левицкий.–заявл.04.08.2011; опубл. 28.02.2013
4. Шарагов, В.А. Химическое взаимодействие поверхности стекла с газами / В.А. Шарагов. – Кишинев: Штиинца, 1988. – 130 с.

УДК 533.9...15

Магистрант П.С. Ларионов

Науч. рук. доц. к.т.н. Ю.Г. Павлюкевич  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМОСТОЙКИХ ТЕКСТОЛИТОВ**

Низкотемпературная плазма используется при синтезе и обработке материалов в машиностроении, авиастроении, металлургии, при производстве электронной техники и в других областях. Наиболее широкое распространение низкотемпературная плазма получила в таких процессах как плазменная резка металлов, плазменное плавление металлов, плазменное напыление покрытий различного назначения (полупроводниковых, жаростойких, износостойких и др.), сфероидизация мелких частиц, а также получение нано- и микропорошков [1].

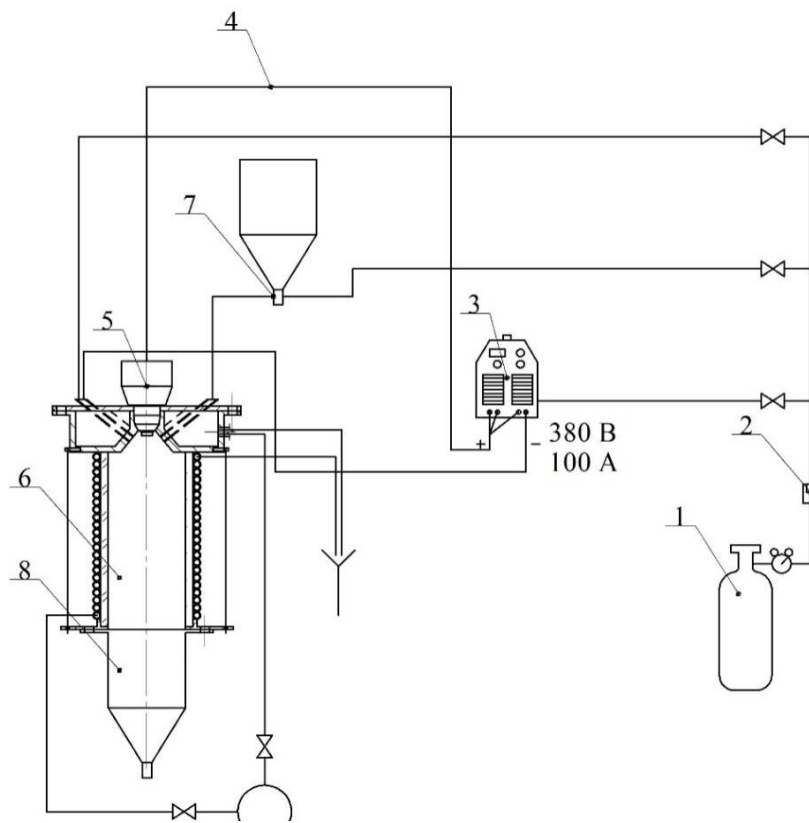
В процессах синтеза и обработки силикатных материалов низкотемпературная плазма получила наиболее широкое распространение при напылении керамических покрытий (полупроводниковых, диэлектрических, износостойких, жаростойких и др.) и синтезе нано- и микро- размерных порошков, таких как оксиды, карбиды, нитриды, бориды различных элементов (титана, циркония, гафния, ванадия, ниобия, тантала, вольфрама, бора, кремния, магния, иттрия, алюминия и др.), при получении стеклянных микросфер и других порошкообразных материалов различного назначения.

Плазмой называют частично или полностью ионизированный газ. Для ионизации электрон в атоме должен приобрести большую энергию, чем его энергия связи. Передача энергии, достаточной для разрыва этой связи, возможна при соударении атома с другой быстрой частицей – электроном, ионом, атомом, молекулой, при взаимодействии с фотоном, а также при воздействии достаточно сильного электрического поля. Для получения низкотемпературной плазмы используются генераторы (плазмотроны)[1].

Разработана плазмохимическая установка, предназначенная для синтеза нано- и микро размерных порошков, а также напыления покрытий различного назначения с помощью низкотемпературной плазмы. Разработанная установка включает следующие элементы: баллон с плазмообразующим газом 1; осушитель 2; плазменная установка (индуктор) 3; шлангопакет 4; плазмотрон 5; реактор 6; загрузочное устройство 7; разгрузочное устройство 8. Схема разработанного реактора представлена на рисунке 1.

Из баллона 1 плазмообразующий газ через осушитель 2 поступает в индуктор 3. В качестве плазмообразующего газа может использоваться воздух, азот, аргон и другие газы. Осушитель 2 устанавлива-

ется для снижения влажности плазмообразующего газа. На корпусе индуктора 3 располагаются регуляторы силы тока и давления плазмообразующего газа, с помощью которых можно регулировать скорость плазмы, ее температуру, а также длину плазменной струи. Из индуктора 3 по шлангопакету 4 плазмообразующий газ поступает в плазмотрон 5, подключенный к реактору 6. Реактор 6 состоит из 2 частей. Первая часть реактора 6 предназначена для подвода плазмы, исходного материала и защитного газа в зону синтеза, являющуюся второй частью разработанного реактора. Подача материала в реактор осуществляется пневматически с помощью загрузочного устройства 7. Выгрузка полученного материала осуществляется с помощью разгрузочного устройства 8.



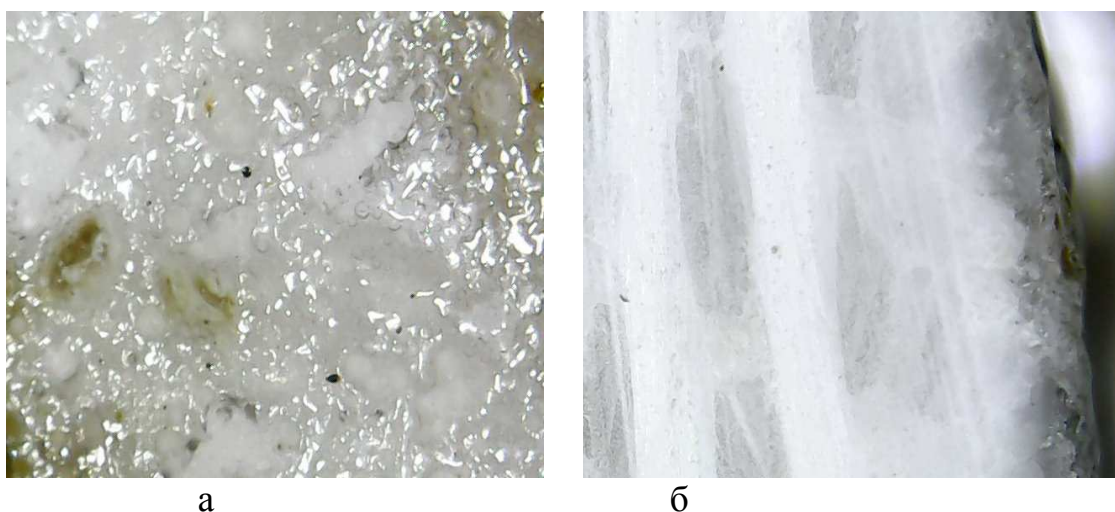
1 – баллон; 2 – осушитель; 3 – индуктор; 4 – шлангопакет;  
5 – плазмотрон; 6 – реактор; 7 – загрузочное устройство;  
8 – разгрузочное устройство

### Рисунок 1 – Схема плазмохимической установки

С помощью разработанной плазмохимической установки была произведена обработка поверхности  $\text{SiO}_2/\text{SiO}_2$  текстолита. Текстолит представляет собой композиционный материал на основе кремнеземистых волокон, обладающий следующими эксплуатационными характеристиками: температура эксплуатации 1200–1400 °С; плотность 1500–1650 кг/м<sup>3</sup>; пористость 20–25 %; предел прочности при изгибе

по основе 35–38 МПа; предел прочности при изгибе по утку 75–80 МПа; диэлектрическая проницаемость при частоте 1 МГц и при 20 °С менее 3,0; тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 МГц и при 20 °С не менее 0,005. Данный материал широко применяется в электротехнике, радиотехнике, машиностроении, ракетостроении и авиастроении. Недостатком текстолита является его высокая пористость и газопроницаемость, что ограничивает его применение в авиастроении.

Обработанная с помощью низкотемпературной плазмы поверхность текстолита (а), а также ее срез (б) представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Обработанная поверхность текстолита (а) и ее срез (б)**

После обработки на поверхности текстолита возникает плотный стекловидный кремнеземистый слой, что видно на рисунке 2а, который снижает газопроницаемость. Толщина обработанной поверхности текстолита составляет 0,5–1 мм (рисунок 2б), благодаря чему материал не теряет своих уникальных свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Григорьев, С.Н. Технологии нанобработки / С.Н. Григорьев, А.А. Грибков, С.В. Алешин. – Старый Оскол: ТНТ, 2008. – 243 с.

УДК 615.014.083

Студ. И.А. Гуца

Науч. рук. доц., к.т.н. И.М. Терещенко  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕДИЦИНСКОГО СТЕКЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОСТОЙКОСТИ**

Главным требованием, предъявляемым к медицинскому стеклу, является высокая химическая устойчивость к соответствующим реагентам, прежде всего дистиллированной воде, кислотам и щелочам. Подобные стекла не должны взаимодействовать с веществом, содержащимся в них. В свою очередь, при хранении лекарственных препаратов в стеклянной упаковке не должно происходить изменения их свойств и внешнего вида. В тех случаях, когда медицинская тара проходит термическую обработку на горелке, дополнительным требованием к стеклам, является их малая склонность к кристаллизации.

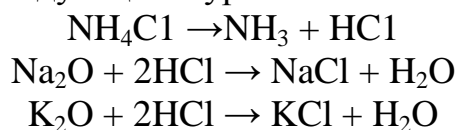
Как правило, в состав медицинских стёкол вводится  $B_2O_3$ , одной из основных функций которого является повышение химической устойчивости стекол ответственного назначения [1]. Особенно высокой стойкостью к химическим реагентам характеризуются, так называемые «нейтральные» стекла, что обусловлено низкой подвижностью ионов в их структуре. Вследствие этого водная вытяжка из них является практически нейтральной. Эти стёкла относятся к группе малощелочных алюмоборосиликатных стекол.

Практика показывает, что подобные стёкла весьма сложны с точки зрения технологии производства из-за высокой летучести  $B_2O_3$ , а также агрессивности и тугоплавкости получаемого расплава. В связи с этим, в последнее время имеет место тенденция производства изделий из медицинского стекла с пониженным содержанием  $B_2O_3$ , но с обязательной термохимической обработкой поверхности изделий. В ходе этого процесса происходит модификация поверхности изделия, что позволяет повысить ее химическую устойчивость на несколько порядков при одновременном его упрочнении в 1,2–1,3 раза [2].

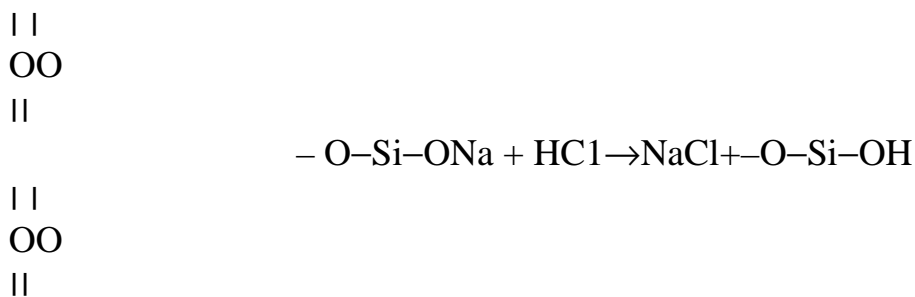
Основной причиной возникновения проблемы низкой гидролитической устойчивости внутренней поверхности сосудов является интенсивная термическая обработка стекла в период формования флаконов на вертикальных автоматах типа FLA–35. В результате интенсивного воздействия пламени горелок на стеклотрубку имеет место диффузия слабосвязанных в структуре стекла ионов из глубинных слоев стекла на внутреннюю поверхность сосуда, что и является причиной снижения водостойкости изделия. Понятно, что впоследствии указан-

ные ионы мигрируют с поверхности сосуда в содержимое флакона, что приводит к деградации медикаментов.

С целью повышения гидролитического класса, производилась обработка внутренней поверхности стеклотрубки реагентами. При этом на поверхности стекла остается налет соли, который в ходе формования и отжига изделий разлагается, выделяя HCl. Полученный кислый газ реагирует с мигрирующими на поверхности входе нагрева (формование, отжиг) слабо связанными в структуре стекла щелочными оксидами (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O)[3]. Химизм термохимической обработки может быть описан по следующими уравнениям:



Химизм процесса модификации поверхности стекла при обработке хлоридом аммония представлен ниже:



При термохимической обработке флаконов NH<sub>4</sub>Cl количество Na<sub>2</sub>O, оставшегося на поверхности изделия уменьшается и таким образом, химическая устойчивость данных стекол резко повышается (примерно в 2,5 раза). Однако, использование твердого реагента приводит к снижению выхода годной продукции из-за растрескивания обработанных образцов. Это происходит в результате того, что процесс пиролиза соединений аммония протекает при значительном поглощении теплоты и гранулы порошка, локализованные в определенном месте на дне стеклоизделия, переохлаждают этот участок стекла, что приводит к его разрушению.

После термохимической обработке флаконов 5 % раствором NH<sub>4</sub>Cl водостойкость флаконов после модифицирования их поверхности возрастает в 2,0–3,0 раз в зависимости от условий выдержки в солевом растворе. Недостатком использования раствора, заключается в сложности автоматизации подачи небольших доз жидкости (до 1 мл) внутрь сосудов, также отмечено растрескивание образцов в результате переохлаждения стекла жидкостью.

**Таблица 1 – Сравнение количества выщелоченного  $\text{Na}_2\text{O}$  при термохимической обработке медицинских флаконов**

№	Способ термохимической обработки	Количество выщелоченного $\text{Na}_2\text{O}$ , мг/см <sup>2</sup>
1	Без обработки	11,61
2	Твердый $\text{NH}_4\text{Cl}$	4,97
3	5 % раствор $\text{NH}_4\text{Cl}$	3,48

На основании данных таблицы 1, наиболее реальным способом повышения водостойкости медицинских изделий является обработка растворами солей поверхности сформированного и охлажденного полуфабриката – стеклотрубки. После подсушки на поверхности которой остается тонкий налет соли, которая при термообработке разлагается с выделением кислых газов.

Отличие модификации поверхности медицинских флаконов и стеклотрубки заключается в увеличении обрабатываемой поверхности, в связи с чем использовалась клеящая добавка для предотвращения осыпания соли с поверхности трубки (поливиниловый спирт).

Результаты изучения выдержки образцов в растворе, температуры и концентрации раствора представлены в таблице 2.

При изучении продолжительности выдержки образцов в растворе  $\text{NH}_4\text{Cl}$  установлено, что наилучшие значения водостойкости получены при выдержке в течение 20 мин.

Повышение температуры солевого раствора благоприятно влияет на водоустойчивость стеклянных изделий. Однако с увеличением температуры раствора возрастают и производственные издержки. В качестве оптимальной целесообразно принять температуру подогрева солевой ванны равную 30 – 40 °С.

В целом увеличение концентрации раствора с 2,5 до 5,0 % приводит к почти линейному возрастанию водоустойчивости. Оптимальной следует считать концентрацию солевого раствора 5,0 %, поскольку достигаемое количество выщелоченных щелочных ионов оказывается достаточным для достижения I класса водостойкости.

Проведенными экспериментальными исследованиями в двух направлениях: 1) модификации поверхности медицинских флаконов при термохимической обработке порошкообразным  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и в растворе; 2) обработка поверхности стеклотрубки в растворе  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , показали, что в результате термохимического модифицирования хлоридом аммония поверхности стекла наблюдается существенно повышение водоустойчивости (в 2,5–3,0 раз).



**Таблица 2 – Сравнение количества выщелоченного Na<sub>2</sub>O при термохимической обработке стеклотрубки**

№ образца	Условия обработки			Количество выщелоченного Na <sub>2</sub> O, мкг/см <sup>2</sup>
	Концентрация, %	Температура, °С	Время выдержки, мин	
1	2,5	20	10	2,49
2			20	2,83
3			30	2,61
4		40	10	2,83
5			20	2,36
6			30	3,12
7		60	20	2,12
8		80	20	1,98
9	5,0	20	10	2,83
10			20	2,14
11			30	2,27
12		40	10	2,43
13			20	2,28
14			30	2,21
15		60	20	1,91
16		80	20	1,72

По результатам оптимизации температурно-временных параметров выдержки стеклотрубки в солевом растворе установлено, что выдержка в течение 20 минут при температуре раствора 30–40 °С обеспечивает наилучшие результаты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чуешов, В.И. Технология лекарств промышленного производства/ В.И. Чуешов, Е.В. Гладух. – Винница: Нова Книга, 2014. – 658 с.
2. Китайгородский, И.И. Технология стекла / И.И. Китайгородский. – М: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. – 623 с.
3. Воробьева, О.В. Механизм образования окисных пленок на стекле / О.В. Воробьева // Стекло и керамика. – 1979. – № 10. – С. 10–11.

УДК 624.148:666.189.3

Студ. В.В. Козлова

Науч. рук. доц. к.т.н. И.М. Терещенко  
(кафедра технологии стекла и керамики БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СОРТИРОВКИ СТЕКЛЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

К конкурирующим на рынке видам неорганических теплоизоляционных материалов относятся изделия из минерального и стекловолокна, керамзит и пеностекло.

При этом керамзит в течение длительного периода не относился к эффективным теплоизоляторам, поскольку его насыпная плотность ( $350 \text{ кг/м}^3$ ) превышала установленный порог ( $<250 \text{ кг/м}^3$ ), однако в последнее время разработаны новые технологические подходы, что позволило получать керамзит с плотностью  $200 - 250 \text{ кг/м}^3$ , что изменило отношение потребителей к нему. Тем не менее керамзит обладает по крайней мере двумя недостатками, которые устранить не удастся: поглощение воды с потерей изолирующих свойств, а также невозможность получения мелкогранулированного продукта (фракция  $<4 \text{ мм}$ ).

Изделия из волокна обладают отличными теплоизоляционными свойствами, однако для них характерным является низкий срок эксплуатации (до 25 лет), разрушение при контакте с водой, а также необходимость тщательной изоляции от воздействия внешней среды. Пеностекло при теплопроводности, равной теплопроводности лучших теплоизоляционных материалов, превосходит их по ряду других показателей. Пеностекло влагонепроницаемо, обладает высокой механической прочностью, не горит и удовлетворяет высоким санитарно-гигиеническим требованиям, так как оно биологически стойко – не гниет и не плесневеет. Средняя плотность различных видов пеностекла колеблется от  $160 - 180$  до  $200 - 300 \text{ кг/м}^3$  [1].

Поскольку классическая технология получения блочного пеностекла порошковым способом весьма затратна (рыночная стоимость пеностекла около  $300 \text{ \$/м}^3$ ), то усилия исследователей в последнее время сосредотачиваются на получении гранулированных продуктов на основе стекла [2].

Целью настоящей работы является определение возможности получения гранулированного пеностекла на основе отсеков сортировки боя стеклянных изделий, получаемых в условиях ГО «Белресур-

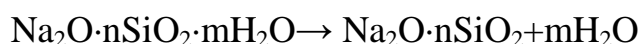
сы». Данное предприятие создано с целью сбора, транспортирования и переработки боя стеклоизделий на территории Минской области. Конечной продукцией является полностью очищенный и измельченный продукт для рециклинга в стекольную отрасль.

Комплексная переработка стеклоотходов включает дробление, магнитную сепарацию, промывку и разделение стекла по цвету с помощью оптических индикаторов. При этом фракция стекла <5 мм предварительно отсеивается, поскольку для мелких частиц разделение по цвету не может быть реализовано. В итоге появляются отсеvy стекла объёмом около 10 тыс т/г., содержащие следующие компоненты (усредненный состав, мас.%): стекло – 80%, органические включения – 6–7%, керамика и камни – 3–4%. Вид отходов сортировки стеклобоя в настоящее время не используется и вывозятся в отвалы, загрязняя окружающую среду.

Целью начатых на кафедре технологии стекла и керамики исследований является определение возможности вовлечения указанных отсеvов в производство, а именно для получения на их основе гранулированных материалов с насыпной плотностью <250 кг/м<sup>3</sup>.

В ходе предпринятых исследований отсевстекла фракции <5 мм проходит предварительную термообработку при 450 °С с целью выгорания органики, измельчался на щековой дробилке до фракции <1мм, а затем – на вибромельнице до дисперсности около 5500 –6000 см<sup>2</sup>/г. Полученный порошок составлял основу шихты, в которую дополнительно вводились следующие компоненты:

– жидкое стекло в качестве связующего, обеспечивающего, с одной стороны легкость гранулирования шихты, а с другой – вспенивание смеси по гидратному способу при термической обработке в соответствии с уравнением:



– углеродсодержащие газообразователи (сажа, сахар, глицерин, мочевины), поскольку из данных литературы известно, что жидкое стекло не может полностью заменить углерод в качестве вспенивающей добавки [3].

Основными технологическими параметрами при получении вспененных теплоизоляционных материалов являются: состав шихты, дисперсность стеклобоя, температура и продолжительность термической обработки, вид вспенивающей добавки.

На начальном этапе исследовалось влияние вспенивающих добавок на свойства продуктов, получаемых после термической обработки гранулированных продуктов в первую очередь на насыпную плотность, которая является основной характеристикой, определяющей теплопро-

водность и механическую прочность получаемых гранул, в виде вспененных материалов.

Методика проведения эксперимента состояла в следующем: точно отвешенное количество стекольного порошка фракцией менее 1мм, предварительно прошедшего дробление в щековой дробилке и тонкое измельчение в течение 40 минут до удельной поверхности  $5920 \text{ см}^2/\text{г}$ , смешивалось с жидким натриевым стеклом и вспенивающей добавкой. Содержание жидкого стекла составляло 8%. В качестве углеродсодержащих добавок применяли сажа, сахар, глицерин и мочевины. Влажность шихты составляла 20%. Из полученной массы вручную формовались гранулы, в форме кубиков с ребром около 8 мм.

Термообработка образцов проводилась в муфельной печи в интервале температур  $750 - 925 \text{ }^\circ\text{C}$ . Образцы вносились в предварительно нагретую печь и выдерживались в течении 10 минут. Содержание вспенивающих добавок – сажи, сахара, глицерина и мочевины на первом этапе сохранялось постоянным и равным 0,5 %. На полученных образцах определялась насыпная плотность.

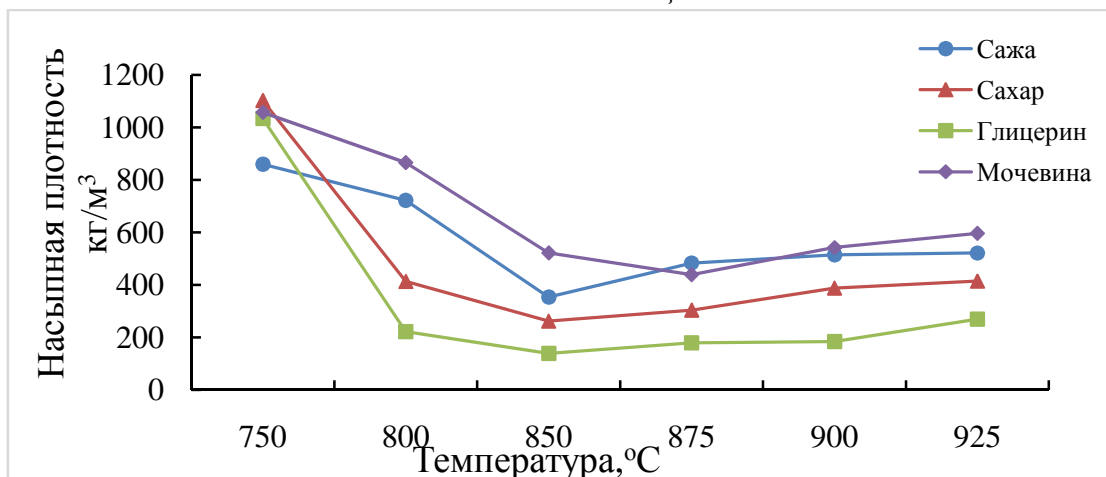
Полученные результаты после термической обработки представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

**Таблица 1 – Насыпная плотность вспененного продукта при содержании жидкого стекла 8 % и различных температурах вспенивания**

Тип вспенивающей добавки	Температура термической обработки, T °C					
	750	800	850	875	900	925
	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>					
Сажа	860	722	353	483	514	521
Сахар	1102	413	262	304	388	414
Глицерин	1034	222	139	179	184	270
Мочевина	1057	866	522	439	542	596

Как следует из графической зависимости (рис. 1), начиная с температуры термообработки  $800^\circ\text{C}$  отмечается резкое снижение насыпной плотности продуктов обжига, которая при дальнейшем повышении температуры изменяется в гораздо меньшей степени.

На основе проведенных экспериментов в качестве оптимального приняты составы, включающий, мас. %: 8 жидкого стекла, 92 стекольного порошка, 0,5 глицерина сверх 100%, а так же состав, мас. %: 8 жидкого стекла, 92 стекольного порошка, 0,5 сажи сверх 100%.



**Рисунок 1 – Зависимость насыпной плотности вспененного продукта от температуры термообработки**

При термической обработке гранул данных составов было выявлено, что в интервале температур 750 – 925 °C наблюдается вспенивание гранул, при этом насыпная плотность составила у образца со вспенивающей добавкой глицерин – 139 кг/м<sup>3</sup> при температуре 850 °C, а с сажей насыпная плотность составила у образца №3 – 353 кг/м<sup>3</sup> при температуре 850 °C.

При выборе оптимальных составов учитывался также внешний вид изделий, а именно степень белизны, поскольку предполагается их использование в составе теплых штукатурок и сухих смесей, востребуемых на современном рынке строительных материалов.

Обработав полученные результаты на первом этапе можно сделать вывод о том, что вспененный продукт оптимального состава обладает наилучшими теплофизическими свойствами. В настоящее время работа по получению гранулированных теплоизоляционных материалов на основе сортировки стеклянных изделий продолжается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективы развития технологии производства и применения пеностекла / Н.И. Минько [и др.] // Пеностекло – Стекло мира. – 2013. – № 3. – С. 75–76.
2. Демидович, Б.К. Пеностекло / Б.К. Демидович. – Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.
3. Кетов А.А. и др. – Строительные материалы, сентябрь 2007 г. – С. 28–31.

УДК 666.638,651-652

Студ. Ю.С. Шинелько  
Науч. рук. доц. к.т.н. Е.М. Дятлова  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ);  
асс. к.т.н. О.А. Сергиевич (кафедра физической, коллоидной  
и аналитической химии, БГТУ)

## **ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

Среди существующих материалов, обладающих магнитными свойствами, наибольший интерес представляет феррит висмута, обладающий пирозлектрическими и сегнетоэлектрическими свойствами, а также имеет высокую температуру Кюри (1100 К). Достоинством ферритов является стабильность магнитных характеристик. При добавлении к ферриту висмута различных минерализаторов материал способен в определенных пределах изменять свои свойства. Высокое электрическое сопротивление, низкие магнитные потери, широкий интервал намагниченности насыщения и ряд других свойств позволяют успешно использовать феррит в различных устройствах сверхвысокочастотной техники.

К магнитным материалам относятся железо, кобальт и никель в технически чистом виде и многочисленные сплавы на их основе. Наибольшее распространение получили технически чистое железо, стали и сплавы на основе никеля и железа. Такие материалы называются ферромагнитными, или ферромагнетиками, т.к. железо является основным магнитным материалом. Согласно представлениям квантовой теории магнетизм обусловлен движением электронов по орбитам вокруг ядра атома или вращением электрона вокруг своей оси, т.е. спином. Магнитные моменты возникают в системах, в которых имеется нечетное количество электронов и которые образуют нескомпенсированный магнитный момент [1].

Отличительной чертой всех ферромагнитных материалов является их способность намагничиваться в магнитных полях. Обычно говорят, что они намагничиваются во внешнем магнитном поле. Таким полем может быть поле, создаваемое электрическим током, или поле другого магнита. Магнитные свойства материалов оцениваются величинами, называемыми магнитными характеристиками [2].

Синтез ферритов в зависимости от их состава, свойств и назначения может осуществляться по разным схемам. Для получения пленок феррита висмута используют различные методы (магнетронное распыление, лазерное и молекулярно-лучевое испарение, газотранспортные

реакции), однако разработка новых, более технологичных методов остается актуальной задачей.

Целью выполнения работы является разработка составов масс и технологических параметров получения керамических материалов на основе модифицированного феррита висмута.

В качестве исходных сырьевых материалов использовались чистые оксиды:  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (ГОСТ 10216-75),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ГОСТ 4173-77),  $\text{La}_2\text{O}_3$  (ГОСТ 2642.7-97), и  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  (ГОСТ 23862.35-79),  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (ГОСТ 4467-79). Усадка опытных образцов определялась в соответствии с ГОСТ 2409-95. Плотность, пористость, водопоглощение – по ГОСТ 2409-95). Водостойкость – способность материала сопротивляться агрессивному воздействию на него воды. Для определения электрофизических свойств в качестве накладных электродов использовали графит. Измерения диэлектрической проницаемости проводились на измерителе иммитанса марки Е7–14 (ГОСТ 30421), при частоте 1кГц, в интервале температур от 25 до 500 °С с интервалом 25 °С. Для измерения магнитных свойств, в т.ч. напряженности магнитного поля использовался тесламер NOVOTEST МФ–1. Рентгенофазовый анализ проводился на установке Brucker (ФРГ) с ионизационной регистрацией рассеянных лучей (излучение  $\text{CuK}\alpha$ ); детектор – счетчик Гейгера. Дифференциально-термический анализ осуществлялся на дериватографе марки ОД–108. Изображения получены с помощью оптического микроскопа со встроенной аналогово-цифровой фотокамерой Leica DFC 280 (Германия) при увеличении в 100 раз.

Опытные образцы без минерализатора, с оксидом лантана и с оксидом церия обжигались при температурах 875, 900, 925 °С, а образцы, в которых в качестве минерализатора использовался  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , способствующий в отличие от первых двух модификаторов интенсификации процесса спекания, обжигались при более низких температурах 800, 825, 850 °С.

В результате проведенных исследований были получены зависимости основных свойств: кажущейся плотности, пористости, водопоглощения от температуры обжига и количества минерализатора. Кажущаяся плотность увеличивается с ростом температуры обжига и повышением количества минерализатора, а открытая пористость и водопоглощение уменьшаются с изменением этих параметров. Оптимальной для образцов с  $\text{La}_2\text{O}_3$  и  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  является температура 925 °С, при которой происходит более полное спекание и улучшение их физико-химических свойств.

Были изучены электрофизические (электрическое сопротивление и диэлектрическая проницаемость) и магнитные (остаточная намагничен-

ность и коэрцитивная сила) характеристики синтезированных материалов.

Магнитная индукция – векторная величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля в данной точке пространства. Вектор магнитной индукции направлен всегда так, как сориентирована свободно вращающаяся магнитная стрелка в магнитном поле. При значении 1000 Гс остается остаточная индукция после снятия магнитного поля, в предварительно намагниченном образце. При снижении напряженности магнитного поля до нуля намагниченность материала уменьшается до определенной величины остаточной магнитной индукции, для снятия которой необходимо приложить магнитное поле с противоположным направлением силовых линий. Напряженность поля, при которой материал размагничивается, называется коэрцитивной силой [3].

На основе проведенных исследований выбран оптимальный состав, содержащий, мас. %:  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  – 68,56;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 26,11;  $\text{La}_2\text{O}_3$  – 5,33, при этом использование  $\text{La}_2\text{O}_3$  ( $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ) способствует формированию в процессе термообработки структуры, не подверженной обратимым полиморфным превращениям.

Материал на основе оптимального состава характеризуется следующими свойствами: водопоглощение – 1,39 %; плотность – 4040 кг/м<sup>3</sup>; пористость – 5,6 %; водостойкость – 99,15 %; максимальное значение диэлектрической проницаемости – 2210; тангенс угла диэлектрических потерь – 0,034; коэрцитивная сила – 64 кА/м; остаточная индукция – 1400 э. При исследовании структуры и фазового состава установлено что, поверхность образцов зернистая, зерна неправильной формы, поры распределены равномерно и имеют небольшой размер. Фазовый состав опытных образцов представлен кристаллами  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ ,  $\text{Bi}_{24}\text{Fe}_2\text{O}_{39}$ ,  $\text{BiFeO}_3$ .

Таким образом, разработанные керамические сегнетоэлектрические материалы на основе модифицированного феррита висмута могут быть использованы в качестве материалов для изготовления интегрированных исполнительных элементов приборов и устройств автоматики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балкевич, В. Л. Техническая керамика : учеб.пособие для втузов / В. Л. Балкевич. – 2-е изд. – М.: Стройздат, 1984. – 256 с.
2. Свирская, С. Н. Пьезокерамическое материаловедение : учеб.пособие / С.Н Свирская. – Стройиздат, 1983. – 252 с.
3. Бабич, В. М. Технология производства ферритов и радиоке-рамики : учеб.пособие для втузов / В. М. Бабич. – М. : Высшая школа, 1984. – 223 с.



УДК 666.3/7(075.8)

Студ. Е.А. Супрунчук

Науч. рук. доц. к.т.н. Е.М. Дятлова,

асс., к.т.н. О.А. Сергиевич

(кафедра технологии стекла и керамики, кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

## **ИЗНОСОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $TiO_2 - R_xO_y$ ( $R - Al, Si, Ca, Mg$ )**

Перспективность износостойкой керамики обусловлена исключительным многообразием ее свойств по сравнению с другими типами материалов, доступностью сырья, долговечностью керамических конструкций в агрессивных средах, стабильным коэффициентом трения при высокой износостойкости. Особый интерес представляет износостойкая керамика, изделия из которой работают в условиях длительных истирающих нагрузок. Нередко износостойкие детали работают при высоких температурах, резких перепадах температуры и других осложняющих факторах. В качестве примера использования износостойкой керамики можно привести нитеводители в производстве волокон. Износостойкость – это свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания [1].

Из литературных данных [2] известно, что диоксид титана обладает повышенным значением диэлектрической проницаемости и является основным материалом для изготовления «конденсаторной керамики», кроме того современные керамические материалы на основе титановых соединений по прочности находятся на уровне с металлокерамическими системами на основе благородных металлов или сплавов без них и характеризуются высокой износостойкостью.

Титановая керамика – это керамика на основе соединений титана. Наиболее широко используется керамика на основе рутила ( $TiO_2$ ), перовскита ( $CaTiO_3$ ), титаната стронция ( $SrTiO_3$ ) и титаната бария ( $BaTiO_3$ ) [3]. Оксид титана используется как модифицирующая добавка, а также в качестве основы радио- и электротехнической керамики, способы получения которой в последние годы претерпели существенные изменения, связанные в первую очередь с расширением области ее применения.

Целью данной работы является разработка составов и технологических параметров синтеза износостойкой керамики на основе  $TiO_2$  для изготовления нитеводителей в текстильной промышленности. В качестве компонентов, улучшающих формовочные свойства сырьевых композиций, выбраны глина огнеупорная Веселовского месторождения «Кера-

мик-Веско», бентонит огланлыкский, тальк онотский; для интенсификации процесса спекания –  $\text{CaF}_2$  (флюорит).

Определение общей усадки ( $I_{\text{общ}}$ , %) опытных образцов производилось согласно ГОСТ 2409–95; плотности, пористости, водопоглощения – по ГОСТ 2409–95; ТКЛР образцов ( $\alpha$ ,  $\text{K}^{-1}$ ) – по ГОСТ 10978–83; предела прочности при сжатии ( $\sigma_{\text{сж}}$ , МПа) – по ГОСТ 4071.1. Микротвердость измерялась на приборе WolpertWilsonInstruments. Рентгенофазовый анализ проводился на установке Brucker (ФРГ) с ионизационной регистрацией рассеянных лучей (излучение  $\text{CuK}\alpha$ ); детектор – счетчик Гейгера. Дифференциально–термический анализ осуществлялся на дериватографе маркиОД–108. Изображения получены с помощью оптического микроскопа со встроенной аналогово-цифровой фотокамерой Leica DFC 280 (Германия) при увеличении в 100 раз.

Опытные образцы получены методом полусухого прессования в виде дисков диаметром 20 мм. Образцы обжигались при температурах 1400, 1450 °С и имели окраску от светло-желтоватой до светло-коричневой. Все образцы характеризовались спекшимся черепком. Общая усадка образцов составила в среднем 5–11 %.

Можно отметить активизацию процесса спекания образцов при повышении температуры обжига, что связано с интенсификацией процессов переноса вещества и увеличения количества расплава, способного к вязкому течению и заполнению пор, в результате чего уменьшается водопоглощение и возрастает плотность материала.

При обжиге 1400 °С изделия имели твердость по шкале Мооса 7,0, при 1450 °С – 8,0. Микротвердость поверхности необработанных образцов выше, чем после шлифовки, что можно объяснить более мелкозернистой структурой поверхностного слоя, формируемого при спекании на границе раздела фаз, и составляет 4000–7900 МПа при температуре обжига 1400 °С и 7000–8100 МПа – при 1450 °С.

Механическая прочность при сжатии материалов, полученных на основе масс исследуемой системы и обожженных при температуре 1400 °С, находится в пределах 616,5–627,6 МПа, при температуре 1450 °С – 619,3–631,5 МПа. Повышение механической прочности материалов при повышении температуры обусловлено интенсификацией процессов образования кристаллических фаз (в основном рутила), обеспечивающих высокие физико-химические свойства, а также увеличением количества образующегося при термообработке расплава, который способствовал заполнению пор, цементированию керамической матрицы образцов и формированию более плотной структуры.

Рост показателей ТКЛР, значения которых составляют для всех исследуемых составов  $(6,9–7,8) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  при 300 °С, с увеличением темпе-

ратуры обжига объясняется снижением пористости материала и увеличением содержания кристаллических фаз. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что разработанные материалы достаточно устойчивы к агрессивным средам (кислотостойкость составляет 92–94 %, щелочестойкость – 94–97 %).

С помощью рентгенофазового анализа было выявлено, что качественный фазовый состав образцов, обожженных при температуре 1400 °С, представлен в основном рутилом, незначительным количеством анатаза и перовскита. Следует отметить, что качественный фазовый состав практически не зависит от температуры спекания и вводимых добавок, но имеет место изменение интенсивности дифракционных максимумов кристаллических фаз.

Анализируя полученные данные, в качестве оптимального выбран состав, содержащий диоксид титана, фторид кальция, глину огнеупорную Веселовского месторождения, бентонит огланлыкский, тальк онотский. Образец обладает следующими характеристиками: температура обжига – 1400 °С, кажущаяся плотность – 3630 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 0,0 %, открытая пористость – 0,0 %, ТКЛР –  $6,63 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , прочность при сжатии – 619,8 МПа, твердость по шкале Мооса – 7, микротвердость – 8409,33 МПа.

Таким образом, на основании полученных результатов эксперимента были установлены зависимости свойств опытных образцов от исходного состава и температуры обжига. Разработанные составы титансодержащих керамических материалов с повышенными физико-механическими характеристиками могут быть использованы в электронной, химической и машиностроительной отрасли, а также для получения износостойких деталей с последующим их применением на предприятиях легкой промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леоньева – М.: Машиностроение, 1990 – 526 с.
2. Мышкин, Н. К. *Трение, смазка, износ: физические основы и технические приложения трибологии* / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец. – М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2007. – 368 с.
3. Белый, А. В. *Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев* / А. В. Белый, Г. Д. Карпенко, Н. К. Мышкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.

УДК 666.635

Студ. Е. И. Шнигир

Науч. рук. проф. д.т.н. И.А. Левицкий  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **АНГОБЫ ДЛЯ ДЕКОРИРОВАНИЯ МАЙОЛИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Ангоб (от фр. «engobe») представляет собой тонкое, как правило, матовое, беложгущееся или цветное покрытие, наносимое как сплошным слоем, так и виде отдельных рисунков на лицевую поверхность керамических изделий [1]. Техника ангобирования состоит в покрытии поверхности еще сырого (необожженного) изделия слоями жидкой разноцветной глины. Основное назначение ангобов заключается в маскировке истинного цвета темного или цветного черепка изделия, улучшении качества его поверхности, придании декоративного вида, снижении расхода глазури (до 30%) и количества дефектов. Кроме того, ангобы являются промежуточным слоем между керамикой и остеклованным слоем глазури, что способствует согласованию свойств черепка и глазури.

Следует отметить, что использование беложгущихся ангобов позволяет надежно маскировать цвет керамического черепка, в результате чего устраняется ряд характерных дефектов глазурованных изделий, например, «просвечиваемость края» [1].

Известные составы ангобных покрытий обладают следующими недостатками: содержат дорогостоящие компоненты и окрашивающие добавки, характеризуются сложной технологией производства, что значительно удорожает процесс производства майолики. Кроме того, необходимо учитывать наличие токсичных компонентов, что негативно сказывается на экологии процесса производства [1, 2].

Целью настоящего исследования является разработка составов масс ангобных покрытий для декорирования майоликовых изделий.

С учетом вышесказанного, в данном исследовании в качестве основных исходных компонентов для получения ангобных покрытий использовались следующие сырьевые материалы, %<sup>5</sup>: каолин просяновский мокрого обогащения – 20–35; огнеупорная глина «Керамик–Веско» – 15–40; кварцевый песок – 35–50; цирконийсодержащая фриттаглушенной глазури Н5 – 5.

Глина «Керамик–Веско» вводилась с целью обеспечения пластифицирующих характеристик, поддержания частиц во взвешенном

---

<sup>5</sup> Здесь и далее по тексту, если не указано особо, приведено массовое содержание, мас. %

состоянии при приготовлении ангоба, а также повышения реологических характеристик получаемой суспензии.

Каолин вводился для повышения термостойкости и белизны покрытия, а кварцевый песок – с целью отощения массы, повышения твердости и для снижения значений ТКЛР.

Фритта вводилась с целью снижения температуры образования стекловидной фазы, а также улучшения качества синтезируемых покрытий.

Ангобныйшликер готовился путем совместного мокрого помола компонентов шихты в шаровой мельнице (Speedy, Италия) продолжительностью 50 мин. до остатка на сите № 0056 в количестве 0,1–0,3% при соотношении материал: мелющие тела : вода, составляющем 1:1,5:0,5. Полученная суспензия влажностью ( $50 \pm 1$ ) % наносилась на полуфабрикат майоликовых изделий при влажности 16–18%. Ангобирование осуществляется посредством ручного окунания.

Далее образцы, покрытые опытными составами ангобов, подвергались сушке при температуре  $100 \pm 5^\circ\text{C}$  и обжигались в электрической печи Nabertherm (Германия) при температурах 980–1080°C с интервалом 240°C. Выдержка при максимальной температуре составляла 1 ч.

Исследование полученных покрытий включало определение декоративно-эстетических характеристик, общей усадки, плотности, пористости, водопоглощения, ТКЛР, термостойкости синтезированных ангобов по стандартным методикам.

Визуального осмотра синтезированных ангобных покрытий показал, что в выбранных системах сырьевых материалов формируются качественные матовые глушеныепокрытия белого цвета. Покрытия гладкие на ощупь и слегка стираются с поверхности изделия.

Блеск ангобных покрытий измерялся на фотоэлектронном блескомере ФБ–2 (Россия) с использованием в качестве эталона увиолевого стекла, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) – на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–300°C.

Общую усадку ангоба определяли как сумму усадок после сушки и обжига.

Величина ТКЛР является важной характеристикой ангобного покрытия, так как чем меньше разница величин ТКЛР ангоба и черепка, тем выше цекоустойчивость и термическая стойкость покрытия. Значения ТКЛР были определены для образцов, обожженных при температурах 980°C и 1060°C.

Определение термической стойкости ангобов проводилось в соответствии с ГОСТ 24770.

Физико-химические свойства синтезированных ангобов приведены в таблице.

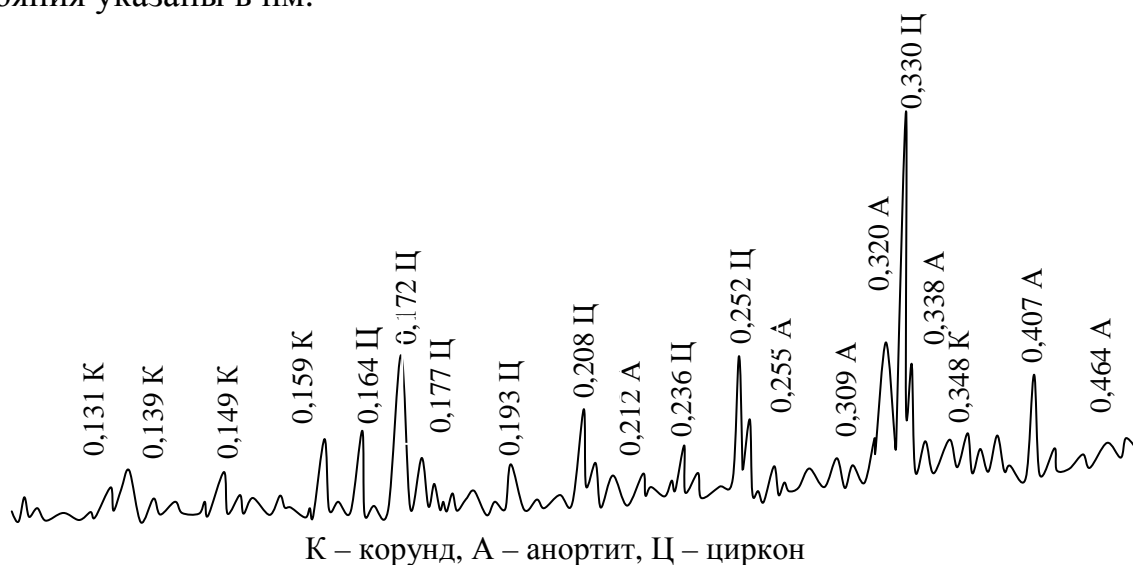
**Таблица – Физико-химические свойства ангобных покрытий**

Свойства	Показатели свойств
Цвет покрытий	Белый
Фактура поверхности	Матовая
Общая усадка, %	2,1–5,2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1520–1790
Пористость открытая, %	34–38
Водопоглощение, %	19–23
Белизна, %	94–96
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^7, \text{K}^{-1}$	38,5–61,6
Термическая стойкость, °С	150

Исследование фазового состава проводилось на установке D8 ADVANCE Bruker (Германия). Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) осуществлялась на приборе DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия).

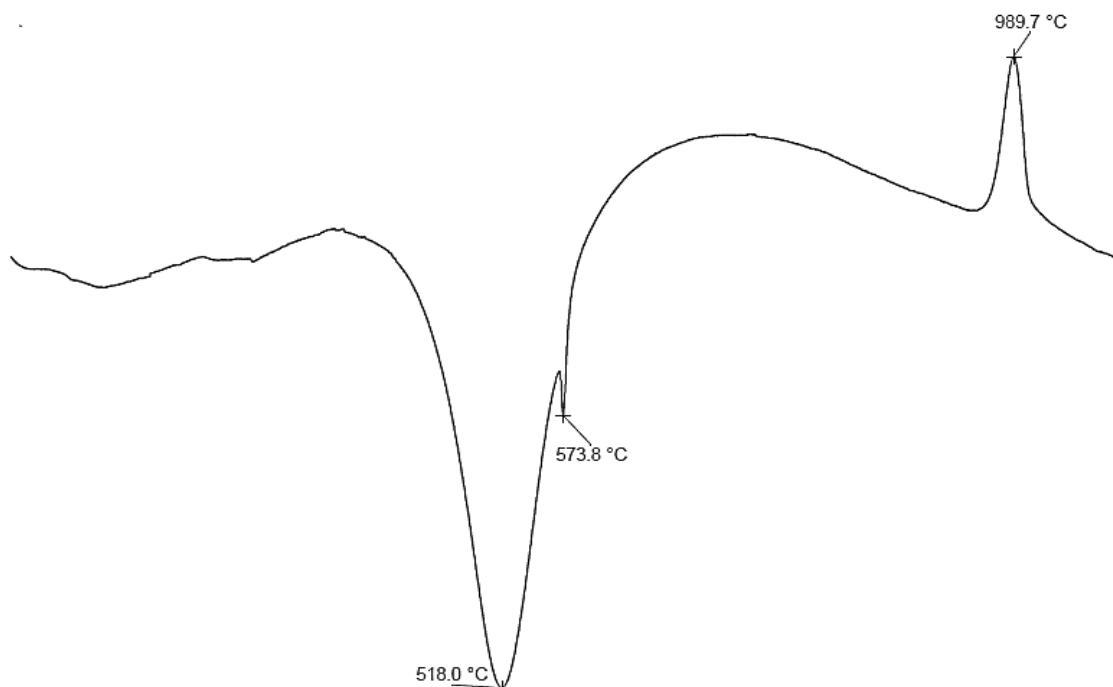
С помощью рентгенофазового анализа установлено, что ангобное покрытие оптимального состава содержит следующие кристаллические фазы: циркон ( $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ ), анортит ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) и корунд ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Циркон придает ангобу глушенную матовую поверхность, кристаллы анортита обеспечивают химическую стойкость, а корунда – механическую прочность ангобных покрытий. Дифрактограмма ангоба оптимального состава приведена на рисунке 1. Межплоскостные расстояния указаны в нм.



**Рисунок 1 – Дифрактограмма ангоба оптимального состава**

По данным исследования фазовых превращений при нагревании ангобных композиций фиксируется ряд термических эффектов. Кривая дифференциально-сканирующей калориметрии представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – ДСК ангоба оптимального состава**

Эндоэффект с минимумом при 518,0°С обусловлен процессом удаления химически связанной влаги из минерала каолинита, входящего в состав каолина и огнеупорной глины.

При температуре 573,8°С наблюдается полиморфное превращение кварца из  $\beta$ -формы в  $\alpha$ -форму. При 989,7°С наблюдается кристаллизация анортита.

Таким образом, в результате проведенного исследования разработаны ангобные покрытия, обладающие требуемой декоративностью и необходимым комплексом физико-химических свойств, которые рекомендуется использовать для декорирования майоликовых изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акунова, Л. Ф. Технология производства и декорирования художественных керамических изделий / Л. Ф. Акунова, В. А. Крапивин. – М.: Высшая школа, 1984. – С. 160–165.
2. Плешко, М. В. Разработка нового состава ангоба на основе криолита и анортозита / М. В. Плешко, М. С. Плешко // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 78–81.

УДК 669.2:667.6

вып. В.О. Стойков; студ. Е.С. Ковалевская  
 Науч. рук. доц. к.т.н. Ю.А. Климош  
 (кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## ПОЛУЧЕНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ЖАРОУПОРНЫХ БЕЗОБЖИГОВЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ГРАНИТОИДНЫХ ОТСЕВОВ, БАЗАЛЬТОВ И ФОСФАТНОЙ СВЯЗКИ

Метод литья в кокиль получил широкое применение в машиностроении при производстве деталей высокой точности для двигателей.

Процесс литья в кокиль начинается с обработки его внутренней поверхности разделительными покрытиями (так называемыми красками), основным назначением которых является предотвращение взаимодействия расплавленного металла с материалом форм. Для этой цели в состав покрытия вводят вещества повышенной огнеупорности на различных связующих. В литейной практике, в основном, используют разделительные покрытия, представляющие собой суспензии, включающие огнеупорный наполнитель (основу), связующее, суспензирующее вещество, растворитель (воду или органическую жидкость) и вспомогательные компоненты (структурирующие добавки, смачиватели, антисептики). При разработке составов разделительных покрытий особое внимание уделяется фосфатным связкам, поэтому нами было использовано алюмофосфатное связующее (АФС), а в качестве наполнителя – компоненты, химический состав которых приведен в таблице 1.

**Таблица 1 – Химический состав наполнителя**

Исследуемая валовая проба	Содержание оксидов, %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO+ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	ппп
Гранитоиды	61,64	14,86	4,38	3,32	8,94	2,52	0,93	0,35	0,19	2,87
Базальт	46,11	11,49	5,0	7,87	14,0	4,30	1,74	0,31	–	9,18

Качественный состав сырьевых композиций для синтеза разделительных покрытий и жароупорных безобжиговых изделий, а также основные технологические стадии их получения приведены в таблице 2.

Экспериментальными исследованиями подтверждена целесообразность использования для защиты поверхности стальных кокилей при производстве алюминиевых отливок разделительных покрытий следую-



щего качественного состава: связующее – АФС; наполнитель – гранитоидные (некондиционная фракция при производстве дорожного щебня РУПП «Гранит») и базальтовые породы; растворитель – вода, а также установлено оптимальное количественное содержание вышеуказанных ингредиентов для получения разделительных покрытий с удовлетворительным комплексом требуемых свойств.

**Таблица 2 – Основные технологические стадии получения материалов**

Синтезируемый материал	Компоненты сырьевой композиции	Основные технологические стадии получения
Разделительные покрытия	Гранитоиды или базальт, алюмофосфатное связующее, глина, вода	Синтез алюмофосфатного связующего → подготовка наполнителя → приготовление суспензии → нанесение на стальную подложку → литье алюминиевых сплавов
Жароупорные безобжиговые изделия	Гранитоиды или базальт, алюмофосфатное связующее, вода	Приготовление композиции «наполнитель-связующее» → полусухое прессование → сушка

Установлено, что наиболее благоприятным соотношением «наполнитель / АФС» является 1,9:1–2,2:1, а экспериментально определенная оптимальная влажность суспензии составляет 50–60 %.

Основным критерием определения пригодности покрытия для использования в качестве защиты кокилей от пригара является отсутствие прилипания охлажденного алюминиевого расплава к его поверхности. Предварительная подготовка заготовок из стали Ст 45 включала стадии обезжиривания и травления в растворе ортофосфорной кислоты. опыты показали, что нанесение покрытия на непротравленную поверхность металла приводило к образованию пористой текстуры и, соответственно, недостаточной прочности сцепления с матрицей. Были проведены испытания стальных заготовок на контакт с расплавом алюминия.

Установлено, что образец из расплава алюминия, отлитый на обработанную разделительным покрытием поверхность стальной заготовки, легко отделялся от нее, в то время как образец, отлитый на необработанную поверхность заготовки, довольно прочно держался (пригорал) и даже при приложении усилия не отделялся от подложки.

Результаты лабораторных и заводских (ОАО «Минский моторный завод») испытаний показали, что функциональные свойства разделитель-

ных покрытий сохранялись при многократной отливке расплавов на стальную подложку.

Актуальность получения футеровочных тугоплавких и огнеупорных материалов обусловлена непрерывно возрастающей потребностью в недорогостоящих качественных жароупорных изделиях, предназначенных для футеровки обжиговых вагонеток и тепловых агрегатов. Переход от импорта к собственному производству жароупорных изделий позволит решить данную проблему, а также расширить ассортимент выпускаемой продукции предприятий керамической отрасли.

Для производства безобжиговых тугоплавких изделий имеется необходимое отечественное минеральное сырье и компоненты для связующего.

Разработанные жароупорные безобжиговые изделия синтезированы из композиций на основе гранитоидных отсеков или базальтов и фосфатного связующего. Они могут эксплуатироваться при температурах до 1100 °С в течение длительного срока.

Технические характеристики разработанных жароупорных безобжиговых изделий приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Технические характеристики жароупорных безобжиговых изделий**

Наименование показателя	Значение показателя
Механическая прочность при сжатии, МПа	18-22
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	2060-2130
Водопоглощение, %	9,5-10,5
Огнеупорность, °С	1300
Термостойкость, циклов (850 °С/вода)	22-26

По показателям физико-механических и термических свойств разработанные жароупорные изделия конкурентоспособны с зарубежными аналогами, не содержат импортных и дорогостоящих компонентов и соответствуют требованиям СТБ 1409-2003.

Важным положительным экономическим фактором является доступность и невысокая стоимость рекомендуемых для использования в качестве наполнителей природных материалов (гранитоидных и базальтовых пород), а также простота изготовления АФС и наличие соответствующего оборудования.

Разработанные составы разделительных покрытий рекомендованы к апробации в цехе алюминиевого литья ОАО «Минский моторный завод» при изготовлении алюминиевых отливок литьем в кокиль. Безобжиговые жароупорные изделия рекомендованы для использования в качестве футеровочных материалов обжиговых вагонеток туннельных печей.

УДК 666.71/.72

Магистрант В.В. Чивиль

Науч. рук. доц. к.т.н. Ю.А. Климош  
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА**

Лицевой керамический кирпич применяется для облицовки фасадов зданий. В отличие от рядового керамического кирпича, он характеризуется точностью геометрических размеров, разнообразием форм и цветовых оттенков. Его эксплуатационные свойства определяются качеством сырьевых материалов и точным соблюдением технологии производства.

Кроме того, лицевой керамический кирпич объемного окрашивания широко используется при реставрационных работах различных зданий и сооружений, в т. ч. памятников архитектуры.

Свое применение кирпич находит не только в качестве конструкционного материала, но и служит ярким декоративным материалом для фигурной, узорной, глазурированной и лекальной кладки.

Целью настоящей работы является получение объемно-окрашенного керамического кирпича на основе глинистого сырья Республики Беларусь.

В работе исследованы составы керамических масс, содержащие сочетания легкоплавких и тугоплавких глин месторождений «Гайдуковка», «Заполье», «Городок», «Городное», «Туровское», каждая из которых вводилась в количестве от 10 до 70 мас. %. Суммарное содержание глин составило 80–90 мас. %. Для снижения усадки, повышения термомеханических характеристик, улучшения формовочных свойств вводилось 10–20 мас. % отощающих добавок – кварцевый песок, бой (брак) керамического кирпича, отходы керамзитового производства.

Проведенные расчеты показали, что опытные керамические массы содержат  $\text{SiO}_2$  в количестве 63–72 % и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в количестве 11–16 %.

В зависимости от сочетания глин синтезированные материалы характеризовались кремовыми, коричнево-оранжевыми и красно-оранжевыми оттенками. Интенсивность окраски образцов усиливается при повышении температуры обжига от 950 до 1050 °С, а также при повышении содержания в массах оксидов FeO и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Путем сочетания глин различного химико-минералогического состава получены образцы лицевого кирпича со следующими физико-механическими свойствами: кажущаяся плотность – 1797–1917 кг/м<sup>3</sup>,

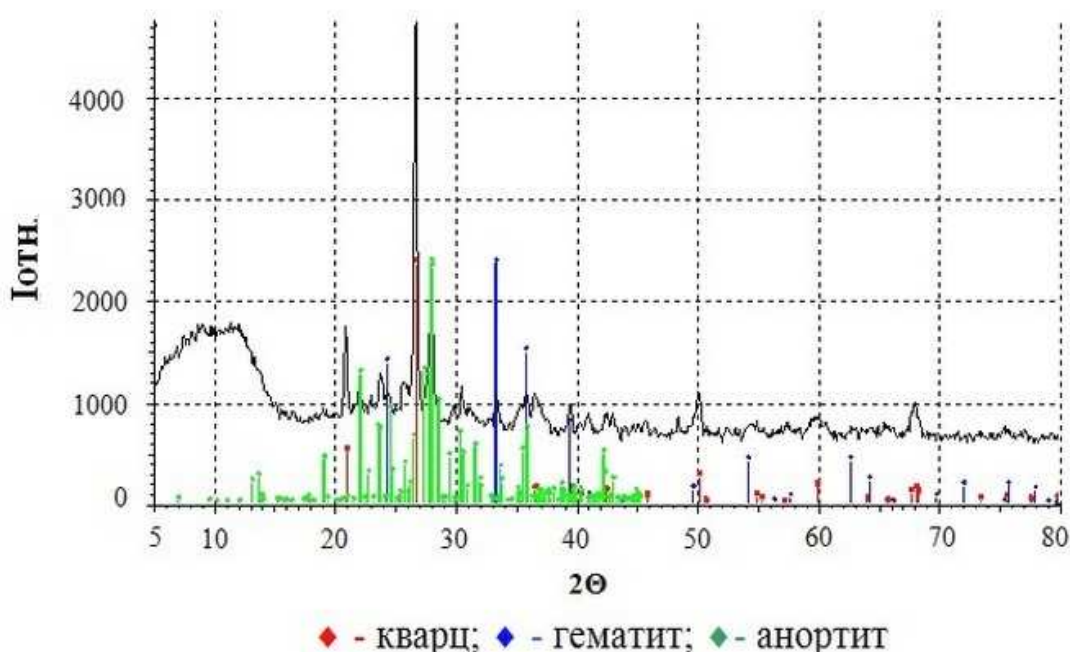
водопоглощение– 11–13 %, прочность при изгибе – 8,6–16,5 МПа, морозостойкость – более 35 циклов.

Для повышения интенсивности окраски лицевого кирпича, повышения чистоты тона изделий нами изучено влияние такого окрашивающего компонента, как желтая охра. Установлено, что синтезированные образцы лицевого кирпича при введении охры в количестве 2–5 мас. % (сверх 100 %) характеризовались желтовато-кремовыми и кремово-оранжевыми оттенками. При этом значительно улучшались цветовые характеристики изделий.

Введение охры в количестве 10–15 мас. % в массы изделий и обжиге при температуре 950–1000°С обеспечивает усиление интенсивности окраски керамического кирпича до оранжевого и оранжево-красного оттенков в зависимости от сочетания глинистых компонентов.

Введение в составы масс охры не оказывает заметного влияния на физико-механические свойства изделий: кажущаяся плотность – 1848–1916 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение– 13–16 %, прочность при изгибе – 6,2–15,3 МПа, морозостойкость – более 35 циклов.

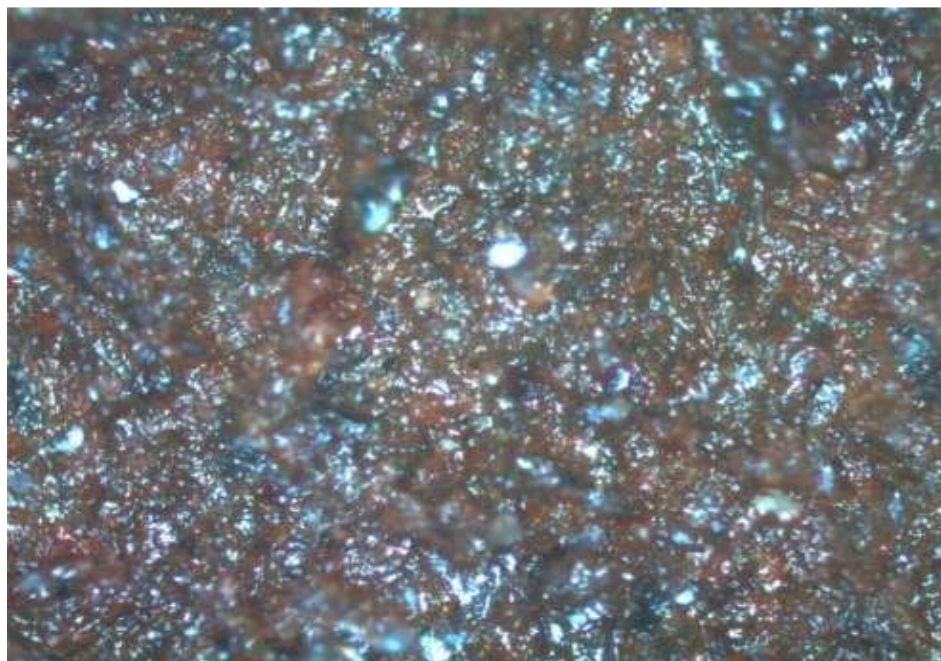
Фазовый состав синтезированных образцов лицевого керамического кирпича представлен  $\alpha$ -кварцем, гематитом, анортитом (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Дифрактограмма керамического кирпича, обожженного при температуре 1000°С**

Наибольшая интенсивность дифракционных максимумов принадлежит  $\alpha$ -кварцу, что вполне закономерно, так как местные глины, как правило, содержат значительное количество свободного кварца.

Изучение структуры образцов с помощью оптической микроскопии показало, что текстура материалов однородная и мелкозернистая, в структуре преобладает аморфизированное глинистое вещество, имеются мелкие равномерные распределенные поры (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Оптический снимок с поверхности образца керамического кирпича, обожженного при температуре 1000°C**

По результатам проведенных испытаний установлено, что наиболее важными факторами, влияющими на процессы формирования цветовых характеристик и свойств изделий, являются сочетания глинистых компонентов и условия спекания керамических материалов (температурно-временные условия обжига), химико-минералогический состав опытных масс.

Варьирование глин различного химико-минералогического состава, использование охры в количестве 2–5 мас. % позволяет регулировать цветовую гамму и чистоту тона объемно-окрашенного керамического кирпича. Такой кирпич в настоящее время востребован при реставрационных работах зданий и памятников архитектуры советского периода. Работа выполняется по заказу УП «Комбинат декоративно-прикладного искусства им. А. М. Кищенко» (г. Борисов).

УДК 666.01

Студ. А.В. Летченя

Науч. рук. доц. к.т.н. Е.Е. Трусова

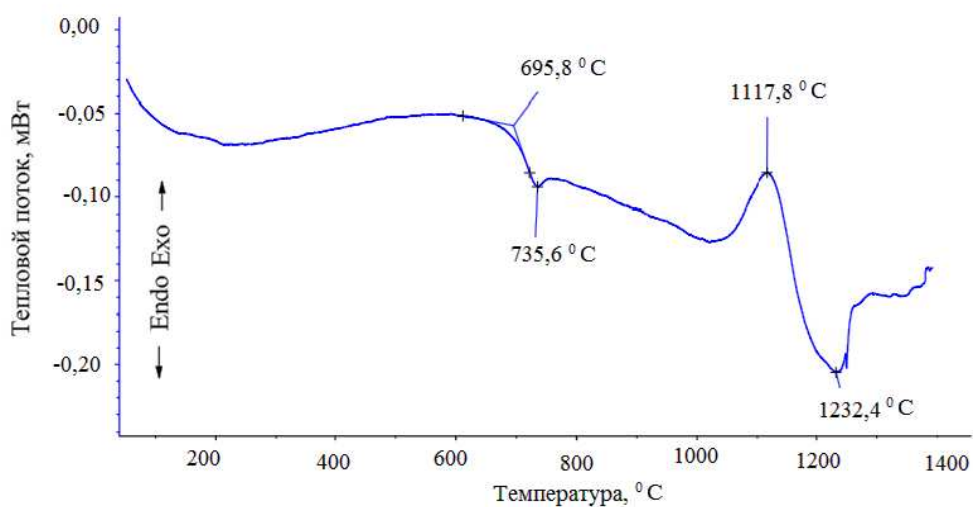
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

## **СОСТАВЫ, СВОЙСТВА И СТРУКТУРА ИЗНОСОСТОЙКИХ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

В настоящее время износостойкие материалы нашли особое применение в футеровке трубопроводов для отвода пыли и золы; разгрузочных желобов; труб; бункерных спиралей; стоков; транспортеров непрерывного потока; камер сушки, а также футеровки барабанов ленточных конвейеров. Для таких целей наиболее часто использует керамические материалы, но альтернативным вариантом являются и износостойкие ситаллы. Целью данной работы является разработка составов, технологии получения и исследование свойств и структуры износостойких стеклокристаллических материалов, которые могут быть использованы при футеровке приводных барабанов ленточных конвейеров.

В ходе анализа данных литературы выявлено, что наиболее перспективной для разработки стекол с целью получения износостойких стеклокристаллических материалов на их основе является система  $\text{MgO-CaO-SiO}_2$ , характеризующаяся образованием ряда твердых растворов. Выбранная область составов стекол включает, мас. %:  $\text{SiO}_2$  50–65;  $\text{MgO}$  10–25;  $\text{CaO}$  5–20 принадлежит области кристаллизации пироксеновых твердых растворов. В качестве катализаторов кристаллизации приняты оксиды титана и циркония, совместное присутствие которых дает возможность получить ситаллы с различной степенью кристаллизации. Исходные стекла синтезированы при температуре 1450 °С в газопламенной печи с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. Температура отжига стекол составила 550 °С. Следует отметить, что для исследуемых стекол характерна кристаллизация в интервале температур 860–1100 °С. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) стекол изменяется от  $58,3 \cdot 10^{-7}$  до  $76,4 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ; плотность стекол составляет 2593–2667  $\text{кг/м}^3$ ; по химической устойчивости они относятся к III гидролитическому классу, микротвердость стекол изменяется от 5567 до 5870 МПа. Изучены зависимости свойств стекол от химического состава. Для разработки температурно-временного режима обработки стекол изучены процессы, протекающие при нагревании с использованием дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК). На рисунке 1 приведены кри-

вые ДСК, снятые в интервале температур 25–1400 °С для оптимального состава стекла.

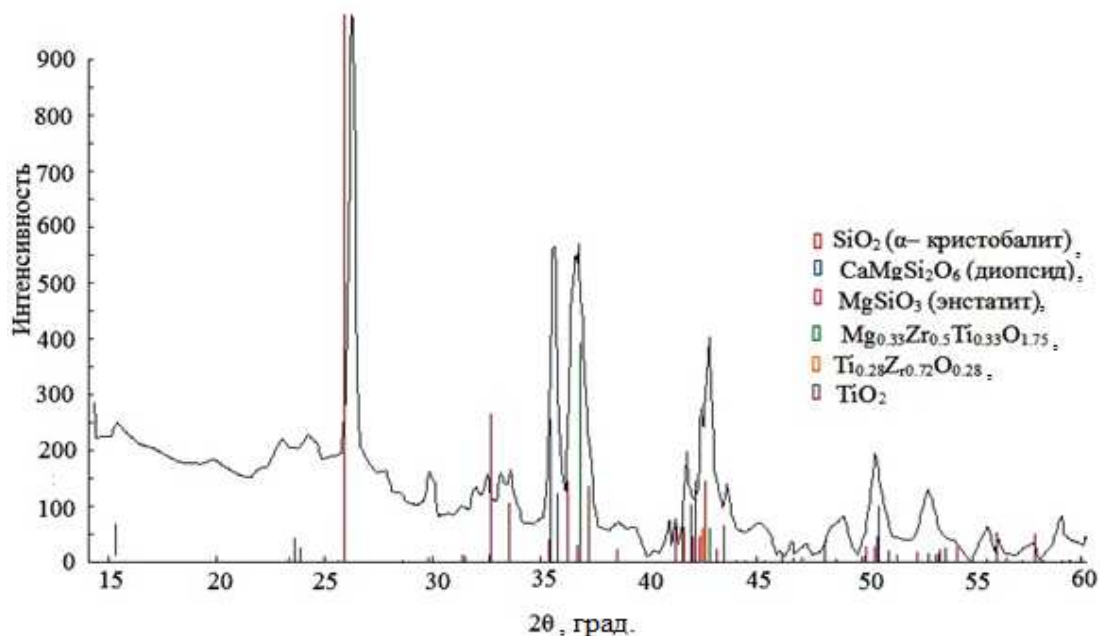


**Рисунок 1 – Кривая ДСК стеклооптимального состава**

На кривых ДСК отмечается эндозэффект в области 735,6 °С, обусловленный температурой начала размягчения стекла. Экзоэффект при 1117,8 °С обусловлен процессом кристаллизации стекла, что в соответствии с данными литературы сопровождается выделением тепла. При температуре 1232,4 °С наблюдается плавление кристаллической фазы. В соответствии с полученными данными принят следующий режим тепловой обработки стекол: 1) нагрев исходного стекла со скоростью 300 °С/ч до температуры 735 °С и выдержка 3 ч при заданной температуре; 2) нагрев до температуры 1120 °С и выдержка в течении 2 ч; 3) инерционное охлаждение в печи. Получены стеклокристаллические материалы с мелкокристаллической структурой белого/серого цвета, которые характеризуются следующими физико-химическими свойствами: температурный коэффициент линейного расширения находится в интервале  $(72,2–96,5) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ; микротвердость изменяется от 8217 до 9895 МПа, механическая прочность на сжатие – 80–85 МПа, плотность – 2850–2900 кг/м<sup>3</sup>.

Дифрактограмматермообработанного стекла оптимального состава представлены на рисунке 2. Показано присутствие фаз:  $\alpha$ -кristобалита, диопсида ( $\text{MgO} \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ), энстатита  $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ , рутила ( $\text{TiO}_2$ ). Оксиды титана и циркония дают кристаллические фазы сложного нестехиометрического состава. Данные кристаллические фазы оказывают непосредственное влияние на физико-технические характеристики ситаллов. В частности, фаза кристобалита будет по-

вышать ТКЛР, диопсид, энстатит и рутил повышает механические характеристики, а кристаллические фазы, образованные оксидом циркония повышает химическую стойкость стеклокристаллических материалов.



**Рисунок 2 – Дифрактограмма термообработанного стекла оптимального состава**

Свойства стекла оптимального состава и стеклокристаллического материала на его основе приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Физико-химические свойства стекла оптимального состава и стеклокристаллического материала на его основе**

Наименование свойства	Показатели свойств	
	стекло	стеклокристаллический материал
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2667	2900
Микротвердость, МПа	5567	9389
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^7 \text{ K}^{-1}$ (20–300) °С	76,47	96,47
Кислотостойкость в 1 н НСl, %	0,49	0,23
Водостойкость, %	0,37	0,03
Теплоемкость, Дж/г·К	0,69476	0,68485
Прочность при изгибе, МПа	35,0	85,0

Таким образом, по комплексу полученных свойств разработанные материалы могут быть использованы как элементы футеровки барабанов ленточных конвейеров.



УДК 691.327.33

Студ. В.И. Янушевский

Науч. рук. ст.преп.,к.т.н. Е.И. Барановская

(кафедра химической технологии вяжущих материалов, БГТУ)

## **ПОЛУЧЕНИЕ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА С ПОНИЖЕННЫМ РАСХОДОМ ГАЗООБРАЗОВАТЕЛЯ**

Производство ячеистого бетона автоклавного твердения является на данный момент одной из самых динамично развивающихся отраслей промышленности строительных материалов. Это привело к стремлению снизить материальные и энергетические затраты на производство блоков из ячеистого бетона путем внедрения различного рода как природных, так и искусственных добавок, без потери эксплуатационно-технических свойств газобетона.

В прошлом традиционными строительными материалами для возведения жилья были такие как дерево, кирпич и тяжелый бетон, каждый из которых обладает своей исключительной особенностью. Но всегда существовала потребность соединить в одном материале все положительные свойства существующих вариантов. Рациональным решением стала разработка нового стройматериала, получившего название ячеистый бетон. Он демонстрирует повышенную тепло- и звукоизоляцию, хорошую устойчивость к осевым нагрузкам, экологическую и санитарно-гигиеническую безопасность, а также исключительную легкость в обработке. Твердая фаза в материале обеспечивает прочность, газовая – физические свойства, жидкая фаза оказывает влияние на физико-технические свойства.

Ячеистый бетон превосходит многие строительные материалы по множеству показателей: имеет высокие тепло и звукоизоляционные свойства, обладает идеальной для своих размеров геометрией, а также широким ассортиментом типоразмеров. Также ячеистый бетон по сравнению с силикатным кирпичом, имеет сравнительно небольшой удельный вес. К минусам можно отнести относительно невысокую прочность, но для ячеистого бетона не требуется высокого расхода цемента для отделки, а используется специальный клеевой раствор, расход которого незначителен, в связи с практически идеальной геометрией газобетонных изделий. К достоинству ячеистого бетона можно также отнести то, что он обеспечивает высокий темп строительства и достаточно прост для обработки.

В работе представлены результаты исследования влияния органических добавок линейки S-Drill производства «СинеджиКом» на ос-

нове натриевых солей поликарбоксилатного лигнина, действующих как анионные ПАВ, на реологические свойства ячеистобетонной смеси и физико-механические свойства бетона.

Помол осуществляли в лабораторной вибрационной мельнице с добавлением при помоле ИПВ органических добавок комплексного действия линейки S-Drill производства «СинерджиКом» с дозировкой 200–600 г/тонну вяжущих (известки и цемента). Результаты определения удельной поверхности в зависимости от дозировки и вида добавок представлены в таблице 1.

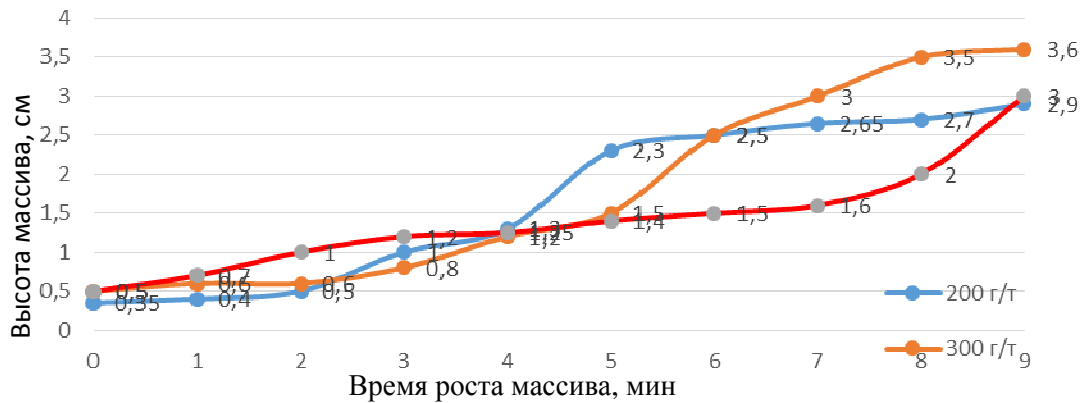
**Таблица 1 – Результаты определения удельной поверхности**

Вид добавки	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	Концентрация, г/т вяж.
Контрольный (+вода)	5196,0	-
S40	5556,3	200
	5634,6	300
	5501,9	400
	5074,6	500
Контрольный (+вода)	5197,6	-
S47	5390,8	200
	5283,4	300
	5530,3	400
	5414,7	500
Контрольный(+вода)	3700,0	-
S39	3987,0	200
	4557,0	300
	4242,0	400
	4257,0	500

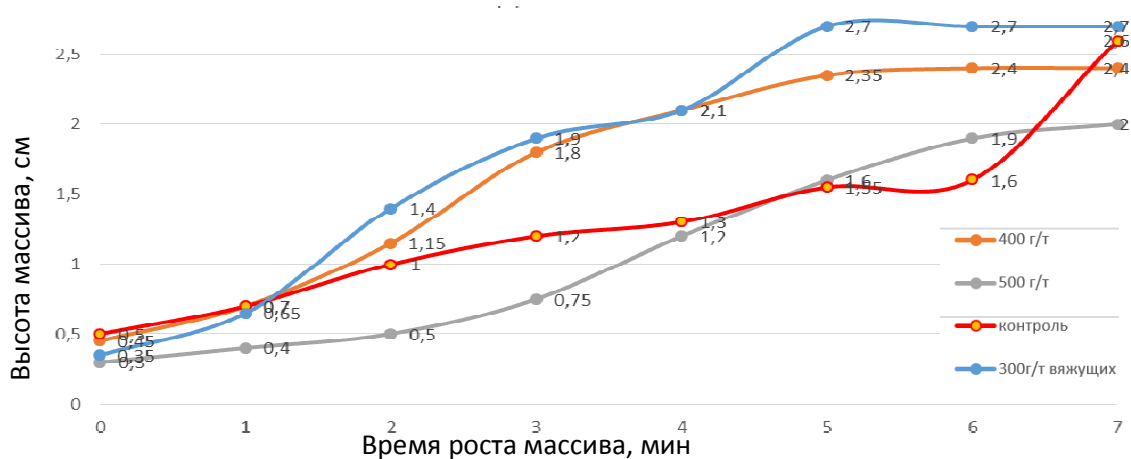
На основании полученных данных в качестве оптимальных выбраны следующие дозировки добавок: S40 – 300 г/т, S47 – 400 г/т, S39 – 300 г/т. При изменении дозировки добавок значение удельной по-

верхности ИПВ увеличивалось для ряда составов, на основании чего установлено, что добавка действует как интенсификатор помола в исследуемой системе. На основании проведенных исследований установлено, что добавка также оказывает влияние на реологические свойства ячеистобетонных смесей.

При проведении испытаний визуально было установлено, что добавка существенно влияет на процесс газовыделения, поэтому был проведен эксперимент по определению интенсивности вспучивания ячеистобетонной смеси. Для этого готовили ячеистобетонную смесь с разным содержанием добавки при  $V/T=0,65$ . В опыте использовали цилиндр с диаметром 80 мм и смесь заливали до начальной высотной метки 40 мм. Через каждую минуту фиксировали высоту поднятия смеси. На рисунках 1 – 2 приведены результаты по вспучиванию смеси с разной дозировкой добавки.



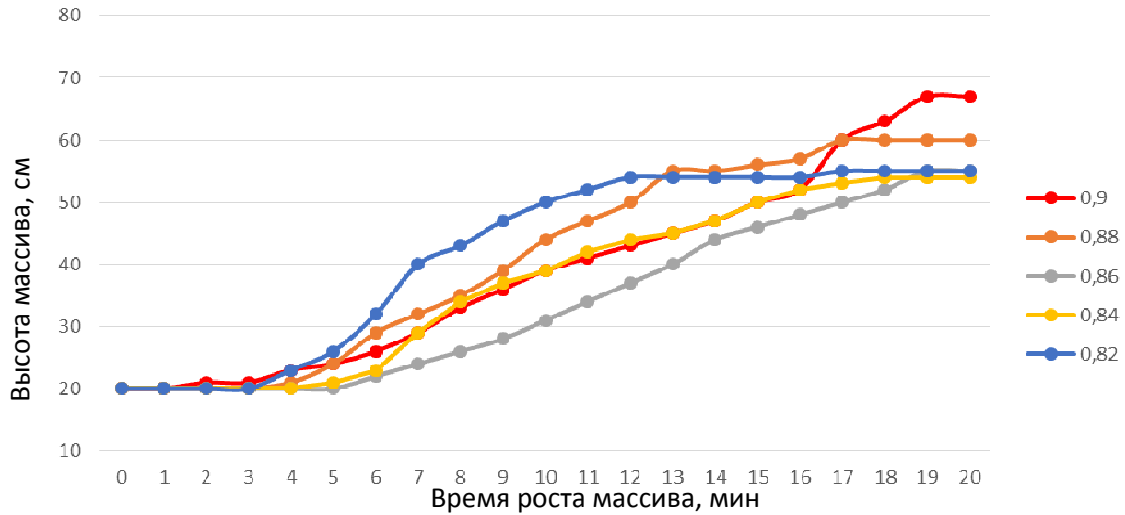
**Рисунок 1 – Влияние добавки S40 на рост ячеистобетонной смеси**



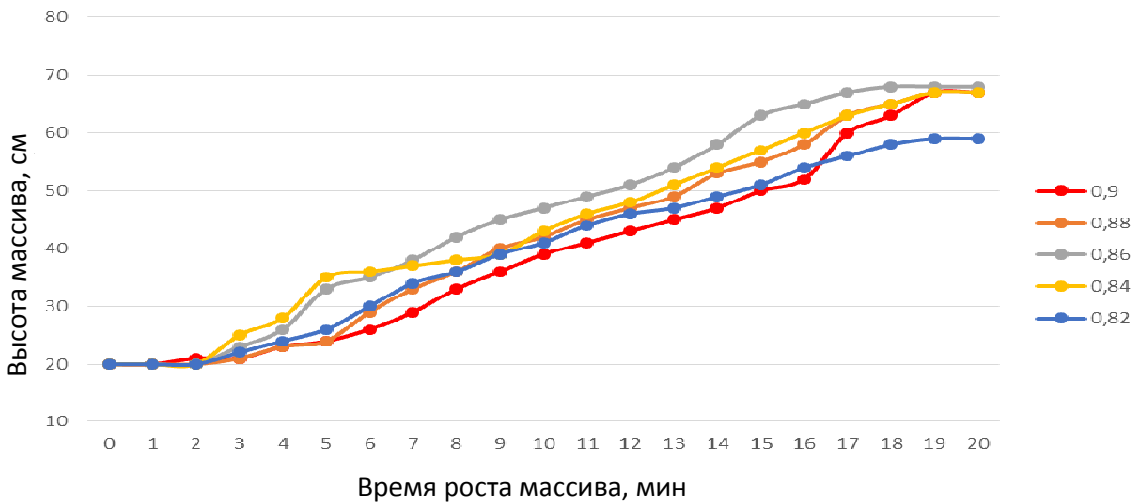
**Рисунок 2 – Влияние добавки S39 на рост ячеистобетонной смеси**

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что исследуемые добавки интенсифицируют процесс газовыделения в за-

висимости от вида добавки и дозировки. Был проведен эксперимент по определению роста смеси с разным содержанием алюминиевой пудры на одну заливку. Результаты представлены на рисунках 3 – 4.



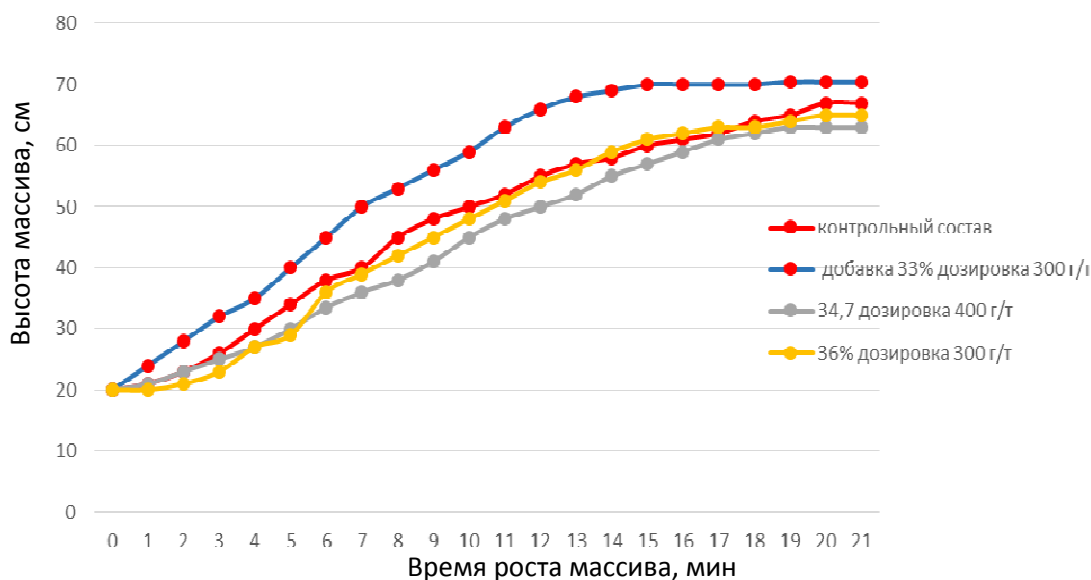
**Рисунок 3 – Влияние добавки S40 на рост ячеистобетонной смеси при различном содержании алюминиевой пудры**



**Рисунок 4 – Влияние добавки S39 на рост ячеистобетонной смеси при различном содержании алюминиевой пудры**

На основании анализа представленных зависимостей установлен различный характер влияния добавок на процесс газовыделения. Полученные данные позволяют сделать заключение о возможности сокращения расхода алюминиевой пудры в составе ячеистобетонных смесей в среднем на 8 – 10 % по сравнению с контрольными составами.

Так как наиболее рациональным способом введения химических добавок, помимо стадии помолла, является введение их непосредственно в виброгазобетоносмеситель, добавки с оптимальными дозировками вводили совместно с песчаным шламом в смеситель. Результаты по определению высоты роста массива представлены на рисунке 5.



**Рисунок 5 – Результаты по определению высоты роста массива**

Установлено, что наиболее эффективной при таком способе ввода является добавка S 40 при ее дозировке 300 г/т.

На следующем этапе выполнения работ были выбраны составы с оптимальными дозировками для проведения испытаний по определению основных физико-механических свойств ячеистого бетона. Так как указанные добавки оказали влияние на процесс газовыделения, а расход алюминиевой пудры для всех составов оставался постоянным, что привело к снижению плотности бетона, то критерием выбора оптимальных составов являлся коэффициент конструктивного качества, а не показатели прочности.

Таким образом, добавкой, которая приводит к существенному улучшению физико-механических свойств по сравнению с контрольным составом является добавка S 40 (дозировка 300 г/т). Существенное влияние на повышение ККК оказала добавка S 47 (дозировка 300 г/т).

В таблице 2 представлены основные физико-механические свойства ячеистого бетона разработанных составов.

**Таблица 2 – Основные физико-механические свойства  
ячеистого бетона**

Состав	Влажность после автоклавной обработки, мас. %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	ККК
Контрольный состав	21,6	430	71,8
S40, дозировка 300 г/т	7,6	230	93,0
S39, дозировка 300 г/т	10,1	310	75,0
S47, дозировка 300 г/т	12,0	258	84,5
S47, дозировка 500 г/т	13,2	284	67,0

Разработанные составы ячеистого бетона были переданы для производственных испытаний в ЗАО «Могилевский КСИ».

УДК 691.3

Маг. К.Ю. Суховская

Науч. рук. зав. кафедрой, доц., к.т.н. А.А. Мечай

(кафедра химической технологии вяжущих материалов, БГТУ)

### **РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБРЕГАЮЩИХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА**

Силикатный кирпич является одним из основных строительных материалов, который применяется для возведения несущих стен многоэтажных сооружений, а также для строительства перегородок во внутренней части помещений.

Для получения силикатного кирпича используются два основных сырьевых материала: песок и известь, которая является дорогостоящим компонентом. С целью снижения себестоимости целесообразно в состав сырьевой смеси вводить различные отходы и побочные продукты промышленности вместо известково-песчаного вяжущего или извести. Использование отходов промышленности должно способствовать не только снижению себестоимости, но и сохранению высоких прочностных характеристик, морозостойкости и водостойкости.

В качестве таких отходов промышленности в данной научной работе были использованы следующие компоненты: керамзитовая пыль, образующаяся после обжига в печи и сульфат калия (побочный продукт при переработке растительного масла в биотопливо). Выбор данных компонентов обусловлен следующими факторами. Отход производства керамзита содержит дегидратированные глинистые

минералы, которые могут взаимодействовать с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  во время тепловлажностной обработки. Механизм действия сульфата калия заключается в том, что реагируя с гидроксидом кальция, он образует гипс и щелочь. Щелочь способствует увеличению растворимости кремнезема при автоклавной обработке, тем самым интенсифицирует образование гидросиликатов кальция. Гипс может участвовать в процессе гидросиликатного твердения. Использование отходов промышленности должно способствовать не только снижению себестоимости, но и сохранению высоких прочностных характеристик, морозостойкости и водостойкости.

Введение отходов производства керамзита в смесь обеспечивает повышение сырьевой прочности силикатного кирпича. Это обусловлено тем, что развитая поверхность керамзитовой пыли предотвращают увеличение числа контактов между частицами при уплотнении и связанное с этим повышение прочности сцепления и механического зацепления.

В данной научной работе было изучено влияние керамзитовой пыли на свойства силикатного кирпича. Производилась замена известково-песчаного вяжущего (ИПВ) на керамзитовую пыль в количестве 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%.

Результаты исследования влияния керамзитовой пыли на свойства силикатного кирпича представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты исследования влияния керамзитовой пыли на свойства силикатного кирпича**

Содержание керамзитовой пыли, %	Прочность, МПа	Водопоглощение, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>
0	20,2	6,7	2,113
5	18,6	8,5	2,053
7,5	18,8	8,8	2,074
10	20,9	8,4	2,102
12,5	21,6	8,3	2,109
15	21,9	8,6	2,144
17,5	22,1	8,5	2,166

Анализируя полученные результаты, можно судить о том, что максимальные значения предела прочности при сжатии (23,2 МПа), достигаются при замене ИПВ на керамзитовую пыль в количестве 5%. Также наблюдается увеличение водопоглощения. Это обусловлено следующим фактором: керамзитовая пыль, образующаяся после обжига в печи, содержит как дегидратированные, так и не дегидрати-

рованные глинистые минералы, которые способны к дополнительному впитыванию влаги из силикатной смеси.

Изучалось влияние  $K_2SO_4$  на прочностные характеристики, водопоглощение, морозостойкость и водостойкость силикатного кирпича. Сульфат калия дополнительно вводился в сырьевую смесь в количестве 0,2 %, 0,3%, 0,4 % от массы силикатной смеси.

Поскольку сульфат калия оказывает замедляющее воздействие на процесс гашения, его следует вводить после заглаживания силикатной смеси с водой при ее доувлажнении.

Полученные результаты представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты исследования влияния керамзитовой пыли на свойства силикатного кирпича**

Содержание $K_2SO_4$ , %	Прочность, МПа	Водопоглощение, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>
0	21	6,7	2108
0,2	31	7,3	2147
0,3	29,5	7	2195
0,4	29,1	7,1	2193

С целью снижения негативного влияния керамзитовой пыли на свойства силикатного кирпича, необходимо параллельно вводить сульфат калия, который будет способствовать повышению водостойкости и морозостойкости.

Результаты влияния совместного введения сульфата калия и керамзитовой пыли на при сжатии (23,2 МПа), свойства силикатного кирпича представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Результаты исследования совместного влияния керамзитовой пыли и  $K_2SO_4$  на свойства силикатного кирпича**

Замена ИПВ на керамзитовую пыль, %	Содержание $K_2SO_4$ , %	Прочность, МПа	Водопоглощение, %
0	0	30,9	8,9
5	0,1	35,1	7,8
5	0,2	37,3	7,9
5	0,3	39	7,9

Анализируя полученные результаты, можно судить о том, что совместное введение керамзитовой пыли и  $K_2SO_4$  способствует повышению прочности и снижению водопоглощения образцов.



УДК 666.972

Маг. Т.М. Судникович

Науч. рук. зав. кафедрой, доц., к.т.н. А.А. Мечай

(кафедра химической технологии вяжущих материалов, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЫСОЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ БЕТОНА**

Современная насыщенность строительного рынка разнообразными материалами требует от производителей высокой конкурентоспособности производимой продукции по всем показателям. В связи с этим наряду с качественными характеристиками предъявляются требования к декоративным свойствам материалов[1].

Здания и сооружения в процессе строительства и эксплуатации подвергаются агрессивному воздействию окружающей среды - перепадам температур, воды и влаги, газов и аэрозолей различного химического состава и на фасадах зданий из бетона, кирпича, на тротуарных и фасадных бетонных плитах появляются высолы (выцветы, налет).

Солевой налет на фасадах не только ухудшает внешний вид зданий и сооружений, но и разрушают бетон. Противогололедные средства, содержащиеся в атмосфере оксиды азота, сернистого и других газов, отработавшие автомобильные газы и промышленные выбросы, химически реагируя с солями на поверхности фасадов, способны образовывать агрессивные соединения, разрушающие бетон в процессе эксплуатации.

Высолы также являются причиной появления значительных механических напряжений, от которых с течением времени разрушаются бетон. Такие напряжения возникают от знакопеременного изменения объема солей при потере или присоединении кристаллизационной воды и могут быть более значительными, чем даже вызываемые действием замерзающей в порах материалов воды.

Между бетоном и отделочным слоем накапливаются высолы, которые вызывают отслаивание отделочного слоя от бетонной поверхности. Настоящая работа является актуальной для строительных организаций нашей страны, так как предотвращаются дополнительные работы по переделке поверхности бетонных плит.

Появление высолов обусловлено наличием в цементе растворимых солей, в первую очередь сульфатов, щелочей и гидроксида кальция, которые при взаимодействии с углекислым газом воздуха обра-

зуют на поверхности бетона не растворимый в воде карбонат кальция. Возникновению высолов способствуют повышенная пористость цементного камня, большое количество воды затворения, введение в цемент добавок, содержащих растворимые соли. К увеличению высолообразования приводит пониженная температура окружающей среды, к снижению – более тонкий помол цемента, введение активных минеральных добавок.

Таким образом, целью настоящей работы являлось исследование влияния различных добавок на высолообразование.

В качестве основных сырьевых материалов в работе использовали ПЦ марки 500Д0 производства «ОАО БЦЗ», «ОАО Красносельск-стройматериалы», «ОАО Кричевцементношифер», песок с модулем крупности менее 1,25. Исследовали влияние следующих добавок на свойства бетона: трепел, глина, кремнегель, метакраолин.

Трепел, бокситовая глина, кремнегель и метакраолин подвергались предварительному измельчению в фарфоровой ступке до однородного дисперсного состава. Трепел и метакраолин сушили в сушильном шкафу при температуре 100°С до постоянной массы.

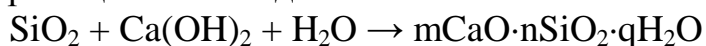
Оценка эффективности действия добавок проводилась визуально по наличию и количеству высолов на поверхности бетонных балок размером 40х40х160 мм изготовленных в соответствии с ГОСТ 30459 – 96 [2].

Была проведена серия экспериментов, в ходе которых было установлено:

1. На основании визуальной оценки определено, что оптимальной является дозировка кремнегеля, составляющая 0,25% от массы цемента.

2. Из представленных предприятием ЗАО «Парад» добавок (шифры №1 – №6) наилучшие результаты показала добавка №4, основным действующим веществом которой является РСАМ (расширяющий сульфоалюминатный модификатор).

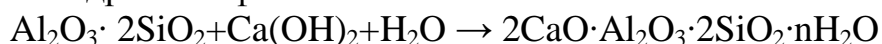
3. С увеличением содержания трепела (0,25 – 1,0 от массы цемента), наличие высолов на поверхности образцов снижается. Это связано с взаимодействием извести и других растворимых минералов с образованием нерастворимых соединений, в следствии чего поры уплотняются и проницаемость изделия снижается.



Исходя из визуальной оценки установлено, что оптимальной дозировкой трепела в бетонной смеси является 1% от массы цемента.

4. Метакраолин с содержанием 0,5% от массы цемента также может использоваться, как добавка против высолов. Применение до-

бавки метаксаолина в цементных композициях, способствует образованию новых гидратных фаз:



На рисунке 1 представлены образцы контрольного состава и состава с добавкой трепела (1% от массы цемента).

Данные по срокам схватывания цементного теста образцов приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Сроки схватывания цементного теста для образцов оптимальных составов**

Состав	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин
Контрольный образец	60	310
Образец с содержанием 1% трепела от массы цемента	80	305
Контрольный образец	60	355
Образец с содержанием 0,5% метаксаолина от массы цемента	70	365

Данные по прочностным свойствам образцов приведены в таблице 2. Образцы всех составов были проверены на прочность при изгибе и сжатии в возрасте 28 суток.

**Таблица 2 – Прочностные свойства образцов бетона**

Состав	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа
Контрольный образец	4,9	9,3
Состав с содержанием трепела 1% от масс цемента	4,9	9,6
Контрольный образец	7,9	34,1
Состав с содержанием метаксаолина 0,5% от масс цемента	8,5	34,8

Данные по прочности показывают, что добавка трепела и метаксаолина не оказывает существенного влияния на изменение физико-механических свойств бетона. Следовательно, их можно использовать в качестве добавок для предотвращения высолообразования.



**Рисунок 1 – Образцы бетона контрольного состава и состава с добавкой трепела (1% от массы цемента).**

Таким образом, на основании проведенных исследований установлены оптимальные дозировки добавок, значительно снижающих высолообразование на поверхности бетона. Результаты могут быть использованы на предприятиях по производству бетона и железобетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Краснобай, Н.Г. Производство железокисных пигментов для строительства / Н.Г. Краснобай, Л.П. Лейдерман, А.Ф. Кожевников // Строительные материалы. 2001. - №8.
2. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности: ГОСТ 30459-96 – Введ. 01.09.1997 – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997

УДК 691.327.33

Студ. Е.А. Матвеева

Науч. рук. ст. преп., к.т.н. Е.И. Барановская

(кафедра химической технологии вяжущих материалов, БГТУ)

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С УСКОРЕННЫМ ТЕМПОМ НАБОРА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ**

Ячеистый бетон предназначен для строительной теплоизоляции: утепление по железобетонным плитам перекрытий и чердачных перекрытий, в качестве теплоизоляционного слоя многослойных стеновых конструкций зданий различного назначения; для теплозащиты поверхностей оборудования и трубопроводов. В последние годы блоки из ячеистого бетона широко используются в качестве конструкционного стенового материала. Дома, построенные из ячеистого бетона, имеют лучшие тепловые характеристики по сравнению с кирпичными.

Ячеистый бетон сочетает в себе лучшие свойства природных материалов, архитектурную податливость и легкость монтажа, а также оптимальную стоимость. Композиция его составляющих элементов и технология производства материала постоянно совершенствуются.

Одним из наиболее перспективных направлений совершенствования свойств ячеистого бетона является использование различных органических и неорганических веществ в качестве добавок.

Добавки могут не только значительно улучшить эксплуатационные свойства ячеистого бетона, но и интенсифицировать технологический процесс производства ячеистобетонных изделий [1].

Целью работы является исследование реологических и физико-механических свойств ячеистого бетона с использованием добавок-электролитов ( $K_2CO_3$ ,  $Na_2CO_3$ ).

Данные добавки относятся к группе электролитов, изменяющих растворимость вяжущих веществ.

На кинетику синтеза гидросиликатов кальция оказывают влияние скорость и степень растворения кремнезема и оксида кальция в реакционной смеси: чем выше в ней концентрация комплексных ионов  $SiO_4^{4-}$  и ионов  $Ca^{2+}$ , тем полнее проходит кристаллизация гидросиликатов кальция. Концентрацию указанных ионов в растворе ячеистобетонной смеси можно регулировать, вводя в состав смеси электролиты.

Растворимость кремнезема наиболее сильно увеличивается в присутствии аниона  $\text{CO}_3^{2-}$  в сочетании с катионом  $\text{Na}^+$ .

Добавки электролитов повышают прочность ячеистого бетона. Электролиты, выполнив роль катализатора реакции, остаются в неизменном виде в твердой фазе ячеистого бетона наряду с новообразованными и непрореагировавшими исходными веществами.

Для получения ячеистого бетона с маркой по плотности D500 были использованы следующие сырьевые материалы в соответствии с СТБ 1570-2005: портландцемент марки М500 с удельной поверхностью  $320 \text{ м}^2/\text{кг}$ , известь негашенную кальциевую с содержанием активных СаО и MgO 72-73 мас.%, песок молотый кварцевый с удельной поверхностью  $280-300 \text{ м}^2/\text{кг}$ , порообразователь-алюминиевую пудру ПАП-1 и воду.

Приготовление сырьевой смеси состояло из следующих стадий: предварительно высушенный при  $105^\circ\text{C}$  песок подвергали помолу в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности  $280-300 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Известково-песчаное вяжущее с соотношением извести и кварцевого песка 1 : 1 получали путем совместного помола этих компонентов в вибромельнице до удельной поверхности  $450-500 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Совместный помол клинкера и природного гипса для получения портландцемента производили в лабораторной вибромельнице до остатка на сите №008 4-6% и удельной поверхности  $320 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Приготовление ячеистобетонной смеси производили в лабораторном блендере WARING 8011S (Германия). Последовательность загрузки материалов в мешалку была следующей: вода с температурой  $45-50^\circ\text{C}$ , песок, цемент, известково-песчаное вяжущее, добавки. После перемешивания в течение 1 мин в смеситель подавали заданное количество водной суспензии алюминиевой пудры и смесь перемешивали еще 30 с. Перед заполнением формы производили ее смазку трансформаторным маслом и подогрели до температуры  $35-40^\circ\text{C}$ . После окончания процесса вспучивания для ускорения набора пластической прочности массива формы с сырцом выдерживали в пропарочной камере при температуре  $70-80^\circ\text{C}$  в течение 3 ч, после чего производили распалубку. Гидротермальную обработку сырца осуществляли в лабораторном автоклаве при избыточном давлении насыщенного водяного пара 1,0 МПа и соответствующей этому давлению температуре  $184,0^\circ\text{C}$ .

Расход сырьевых компонентов для получения образцов бетона с маркой по прочности D500 на  $1 \text{ м}^3$  составлял, кг: цемент-122, молотый кварцевый песок-181, известково-песчаное вяжущее-168.

В качестве контрольных образцов использовались составы ячеистого бетона, полученные без применения добавок.

Дозировка добавки  $K_2CO_3$  в составе ячеистобетонной смеси составляла 0,3-0,5 % от массы цемента.

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Было установлено, что пластическая прочность бетона с маркой по плотности D500 с добавкой  $K_2CO_3$  в количестве 0,3 % от массы цемента оказалась ниже, чем у бетона с маркой по плотности D500 с добавкой в количестве 0,5% от массы цемента. Это связано с силой воздействия на растворимость аниона  $CO_3^-$ , который при большем своем количестве показал лучшие результаты при испытании на прочность при сжатии ячеистого бетона.

**Таблица 1 – Результаты исследований**

Образцы	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент конструктивного качества	Влажность, %
Контрольные образцы	386,58	0,45	30,25	8,71
Состав 1 (Поташ 0,3%)	374,31	0,68	48,86	5,29
Состав 2 (Поташ 0,5%)	321,16	0,76	41,47	9,39

Установлено, что прочность на сжатии бетона с маркой по плотности D500 состава №2 повышается в 1,6-1,7 раза по сравнению с контрольным образцом и составляет 0,68-0,85 МПа.

Таким образом установлено, что применение указанной приводит к повышению физико-механических свойств ячеистого бетона, что позволит снизить среднюю плотность бетона при сохранении его прочности. Кроме того, снижение плотности приводит к уменьшению расхода дорогостоящих сырьевых компонентов и энергозатрат на помол сырья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика/ Н.П. Сажнев, В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич, Л.В. Соколовский. – Мн.: Стринко, 1999. – 284 с.

УДК 666.94.052.3

Студ. П.Н. Кондаков

Науч. рук. ст. преп., к.т.н. Е.И. Барановская

(кафедра химической технологии вяжущих материалов, БГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩЕГО ЦЕМЕНТА СВЕРХТОНКОГО ПОМОЛА**

Одним из наиболее перспективных и эффективных направлений химизации в современном строительстве является широкое использование различных органических и неорганических веществ в качестве добавок к бетонам. Вводимые при невысоких дозировках, они существенно влияют на химические и физико-химические процессы при гидротермальном твердении бетона и создание благоприятной, с точки зрения стойкости, структуры бетона.

В литературе практически отсутствуют данные о системных исследованиях по модифицированию структуры автоклавного ячеистого бетона минеральными добавками в отличие от тяжелого цементного бетона.

Целью учебно-исследовательской работы является исследование возможности применения модифицирующего цемента сверхтонкого помола в качестве добавки, обеспечивающей улучшение физико-механических свойств ячеистого бетона.

В Республике Беларусь в соответствии с СТБ производится добавка РСАМ (расширяющий сульфоалюминатный модификатор), фазовый состав которой позволил предположить возможность ее использования для изменения состава и микроструктуры продуктов гидросиликатного твердения при гидротермальной обработке ячеистого бетона. РСАМ имеет сложный минералогический состав, представленный ангидритом  $\text{CaSO}_4$ , бета- $\text{SiO}_2$ , сульфосиликатом кальция и сульфоалюминатом кальция  $3(\text{CaO} * \text{Al}_2\text{O}_3) * \text{CaSO}_4$  и другими соединениями. РСАМ был представлен предприятием ЗАО «Парад» и получен путем обжига сырьевой смеси, включающей фосфогипс, глину и мел в заданном соотношении при температуре  $1000^\circ\text{C}$  и времени выдержки 20 мин. Особенностью представленной добавки в отличие от классической добавки РСАМ является ее сверхтонкий помол.

Основные физико-химические показатели модификатора РСАМ представлены в таблице 1.



Для получения ячеистого бетона с маркой по плотности D500 были использованы следующие сырьевые материалы в соответствии с СТБ 1570-2005:

- портландцемент марки М500 с удельной поверхностью 320 м<sup>2</sup>/кг;
- известь негашенную кальциевую с содержанием активных СаО и MgO 72-73 мас.%;
- песок молотый кварцевый с удельной поверхностью 280-300 м<sup>2</sup>/кг;
- порообразователь-алюминиевую пудру ПАП-1 и воду.

Добавка вводилась в состав ячеистобетонной смеси, рассчитанной на получение бетона с плотностью 400-500 г/см<sup>3</sup>. Дозировка составляла 0,5-1,5% от массы сухих компонентов.

**Таблица 1 – Физико-химические показатели модификатора РСАМ**

Наименование показателя	Значение показателя по СТБ 2092-2010
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2750 – 3000
Влажность, % не более	0,1
Тонкость помола: удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг, не менее остаток на сите с сеткой № 008, %, не более	300 15,0
Содержание, %: оксида алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) ангидрида серной кислоты (SO <sub>3</sub> ); хлор-ионов, не более	6,0-10,0 20,0-30,0 0,1
Линейное расширение, %, не менее	0,1
Самонапряжение, МПа, не менее	1,0
Применяемость для резервуаров питьевой воды	Разрешается

Для оценки прочностной эффективности материала использовался такой объективный показатель, как коэффициент конструктивного качества (ККК).

Основные физико-механические свойства бездобавочных (контрольных) образцов ячеистого бетона и образцов бетона, в сырьевую смесь которого вводился РСАМ, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследований

Образцы	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент конструктивного качества	Влажность, %
Контрольные образцы	386,58	0,45	30,25	8,71
Состав 1 (РСАМ 0,5%)	501,8	0,57	22,59	10,75
Состав 2 (РСАМ 1%)	409,15	0,78	46,81	11,19

Приготовление сырьевой смеси состояло из следующих стадий: предварительно высушенный при 105°С песок подвергали помолу. Меловые гранулы для получения извести обжигали при температуре 1100°С в течении 20 мин. Соотношение кварцевого песка и извести в известково-песчаном вяжущем 1:1. Совместный помол клинкера и природного гипса для получения портландцемента производили до остатка на сите №008 4-6% и удельной поверхности 320 м<sup>2</sup>/кг.

Приготовление ячеистобетонной смеси производили в лабораторном блендере. Последовательность загрузки материалов в мешалку была следующей: вода с температурой 45-50°С, песок, цемент, известково-песчаное вяжущее, добавки. После перемешивания в смеситель подавали заданное количество водной суспензии алюминиевой пудры и смесь снова перемешивали. Формование изделий осуществляли литьевым способом в разъемные металлические формы с размерами 70×70×70 мм. Перед заполнением формы производили ее смазку трансформаторным маслом и подогрев до температуры 35-40°С. После чего производилась гидротермальная обработка в лабораторном автоклаве при избыточном давлении насыщенного водяного пара 1,0 МПа и соответствующей этому давлению температуре 184,0°С.

Таким образом установлено, что применение указанной добавки в количестве 1% от массы сухих приводит к повышению физико-механических свойств ячеистого бетона, что позволит снизить среднюю плотность бетона при сохранении его прочности. Кроме того, снижение плотности приводит к уменьшению расхода дорогостоящих сырьевых компонентов и энергозатрат на помол сырья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика/ Н.П. Сажнев, В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич, Л.В. Соколовский. – Мн.: Стринко, 1999. – 284 с.

УДК 691.215.1:691.5:661.25

Магистрант М.А. Комаров

Науч. сотр. Н.Г. Короб

Науч. рук. профессор, д.т.н. М.И. Кузьменков

(кафедра химической технологии вяжущих материалов, БГТУ)

## **ПОЛУЧЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО ДИГИДРАТА СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ЕГО НА ГИПСОВЫЕ ВЯЖЕЩИЕ**

Гипсовые вяжущие и изделия на их основе являются малоэнергоемкими перспективными строительными материалами. При высоких потребительских свойствах (гигиеничность, огнестойкость, биостойкость, обеспечение благоприятного климата в помещении) они имеют не высокую стоимость по сравнению с другими строительными материалами.

В России в настоящее время доля гипсовых вяжущих составляет не более 5% в общем балансе минеральных вяжущих, а в Беларуси этот показатель ещё ниже – менее одного процента. В Германии доля гипсовых вяжущих в общем балансе минеральных вяжущих составляет 25-27 %, в США – около 20% [1].

Номенклатура производимых гипсовых вяжущих в СНГ и в Беларуси весьма узкая – строительный гипс около 95 %, высокопрочный гипс около 5 %. Доля ангидритового вяжущего незначительна, а многофазные (полиминеральные) вообще не производятся, хотя их количество во многих странах неуклонно растёт, достигнув в настоящее время около 30 %.

Ввиду отсутствия в нашей республике необходимого объема выпуска гипсовых вяжущих потребность в строительных материалах на их основе покрывается за счет импорта, что напрямую связано с состоянием сырьевой базы в Республике Беларусь, а именно с отсутствием запасов природного гипса.

Все виды гипсовых вяжущих (строительного, высокопрочного и ангидритового) получают в основном из следующих гипсосодержащих материалов – природного гипса, техногенных продуктов (сульфо-гипса, фосфогипса, борогипса, титаногипса, цитрогипса и др.) или синтетического гипса.

Исходя из этого, вся потребность в природном гипсовом камне в Беларуси удовлетворяется исключительно за счет импорта из Украины, Молдовы, России.

В технологическом цикле производства жаростойкого волокна Арселон на ОАО «СветлогорскХимволокно» ежегодно образуется

около 7 000 тонн (в пересчете на 100%) разбавленной 52-55% серной кислоты. До настоящего времени целью ее утилизации производилась нейтрализация плавсодой, а затем сбрасывалась в реку Березина.

Наличие в Республике Беларусь высококачественного карбонатного сырья является предпосылкой выбора его в качестве сырья для получения синтетического дигидрата сульфата кальция, который может быть получен из меловой суспензии и отработанной 52-53% серной кислоты. Такое направление в гипсовой промышленности является сравнительно новым.

Технологический процесс получения синтетического гипса из отработанной серной кислоты и карбонатного сырья будет состоять из следующих основных этапов: приготовление суспензии мела; разложение мела серной кислотой; выделение дигидрата сульфата кальция путем фильтрации или центрифугирования; возврат маточно-го раствора в цикл на стадию приготовления суспензии мела.

Для переработки синтетического гипса были выбраны 3 варианта:

- переработка синтетического дигидрата сульфата кальция на строительный гипс ( $\beta$ -CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O);
- автоклавная переработка синтетического гипса на высокопрочное гипсовое вяжущее;
- термическое получение ангидритового вяжущего.

Технологический процесс переработки синтетического дигидрата сульфата кальция на строительный гипс состоит из следующих стадий: варка синтетического гипса в гипсоварочных котлах; выдержка строительного гипса для усреднения состава; упаковка и отгрузка потребителю.

Полученные данные свойств строительного гипса по данной технологии представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Физико-механические свойства строительного гипса**

Свойство	Строительный гипс полученный на основе синтетического гипса	Строительный гипс по ГОСТ 125-79
Цвет	серый	серый
Удельная поверхность	0,43 м <sup>2</sup> /г	0,3-0,5 м <sup>2</sup> /г
Водопотребность	51 %	50-70 %
Предел прочности на сжатие	5-7 МПа	4-5 МПа
Сроки схватывания:		
Начало	Не ранее 2 мин	Не ранее 2 мин
Конец	Не более 10 мин	Не более 15 мин

Таким образом результаты лабораторных исследований по переработке синтетического гипса на  $\beta$ -полугидрат сульфата кальция показали принципиальную возможность организации производства этого строительного материала с целью частичного импорта замещения и расширения линейки отделочных материалов.

Получение высокопрочного гипсового вяжущего из синтетического гипса осуществлялось автоклавным методом и включает следующие типовые технологические стадии: брикетирование синтетического гипса; гидротермальную обработку дигидрата сульфата кальция с получением  $\alpha$ -полугидрата; дробление брикетов полугидрата сульфата кальция; сушку раздробленного полугидрата сульфата кальция; измельчение материала; складирование.

Высокопрочное гипсовое вяжущее, полученное по вышеописанному способу, характеризуется следующими сроками схватывания: начало 4-6 минут, окончание 10-11 минут. Это свидетельствует о том, что полученное вяжущее является быстротвердеющим и удовлетворяет требованиям нормативно-технической документации на высокопрочные гипсовые вяжущие. В случае необходимости регулирования сроков схватывания в более широком диапазоне времени могут быть применены добавки.

Полученное гипсовое вяжущее является вяжущим средней водостойкости с  $K_p = 0,49$ .

Экспериментальным путем, по диаметру расплыва теста, которое составило 177 мм, было установлено водогипсовое отношение для полученного гипсового вяжущего, которое составило 0,45, что соответствует требованиям ГОСТ 23789-79.

Проведенными исследованиями установлено, что свойства полученного высокопрочного гипсового вяжущего по разработанной технологии находятся на уровне зарубежных аналогов, используемых при производстве сухих строительных смесей и в составе самонивелиров. Марка получаемого по предлагаемой технологии гипсового вяжущего – Г10-Г22 [2].

Получение ангидритового вяжущего из синтетического гипса осуществлялось традиционным термическим способом и состоит из следующих стадий:

- гранулирование синтетического гипса (подача в порошкообразном виде);
- термическая обработка;
- помол ангидритового вяжущего;
- складирование и отгрузка потребителям.

На данный момент ведутся исследования свойств полученного ангидритового вяжущего.

Выполненный цикл исследовательских работ по получению синтетического гипса и переработки его на  $\beta$ -полугидрат сульфата кальция (строительный гипс) показал принципиальную возможность организации производства этих строительных материалов в промышленном масштабе с использованием гипсоварочного котла непрерывного действия. Однако в связи с тем, что  $\alpha$ -модификация полугидрата сульфата кальция характеризуется более высокими прочностными показателями, а, следовательно, и более широкими возможностями применения (всегда можно разбавить менее качественным вяжущим, например, при производстве сухих строительных смесей), было принято решение выбрать целевым продуктом высокопрочное гипсовое вяжущее.

Это открывает более широкие перспективы с точки зрения его использования как в составе сухих строительных смесей, вместо закупаемых по импорту, так и при производстве гипсокартонных листов и другой строительной продукции.

По мнению ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», лидера российского рынка высокопрочных сепарированных гипсовых вяжущих, именно высокопрочные гипсовые вяжущие являются лучшей основой для производства современных сухих строительных смесей. Поскольку в рецептуру такой смеси требуется введение большего количества пластификаторов, итоговая себестоимость смеси на «дешевом» строительном гипсе получится существенно выше.

Уникальность предложенного технологического решения состоит в том, что в настоящее время технологии получения синтетического гипса из отработанной серной кислоты и перекристаллизации его в высокопрочное гипсовое вяжущее ни в Беларуси, ни в странах СНГ нет, что является отличительной особенностью, так как все производства по получению гипсовых вяжущих в этих странах базируются на природном гипсовом сырье.

По данным ОАО «СветлогорскХимволокно» первая партия синтетического гипса поступит на внутренний рынок во втором квартале 2019 года. Таким образом отечественный дигидрат сульфата кальция позволит увеличить долю гипсовых вяжущих в общем балансе минеральных вяжущих производимых в Республике Беларусь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменков, М.И. Переработка синтетического гипса на  $\alpha$ - $\text{CaSO}_4$  автоклавным способом / М.И. Кузьменков, Д.М. Кузьменков,

Н.Г. Стародубенко // Труды БГТУ. – 2016. – № 3: Химия и технология неорганических веществ. – С.21-24.

2. Комаров, М.А. Переработка отработанной серной кислоты ОАО «СветлогорскХимволокно» на синтетический гипс и высокопрочное гипсовое вяжущее / М.А. Комаров, М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб, Д.М. Кузьменков // Международная техническая конференция «Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития» посвященная 60-летию научно-педагогической деятельности профессора Н.М. Бобковой: материалы конференции, Минск, 25-27 октября 2017 г. / Белорусский государственный технологический университет. – Минск 2017. С. 109–114.

УДК54.052+54.03

Студ. А. В. Романовская, магистрант Д. В. Кононович  
Науч. рук. доц. В. В. Жилинский,  
(кафедрахимии, технологии электрохимических производств и  
материалов электронной техники, БГТУ)

### **СИНТЕЗ ОЛОВЯННО-МОЛИБДЕНОВЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ НА МАССИВАХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

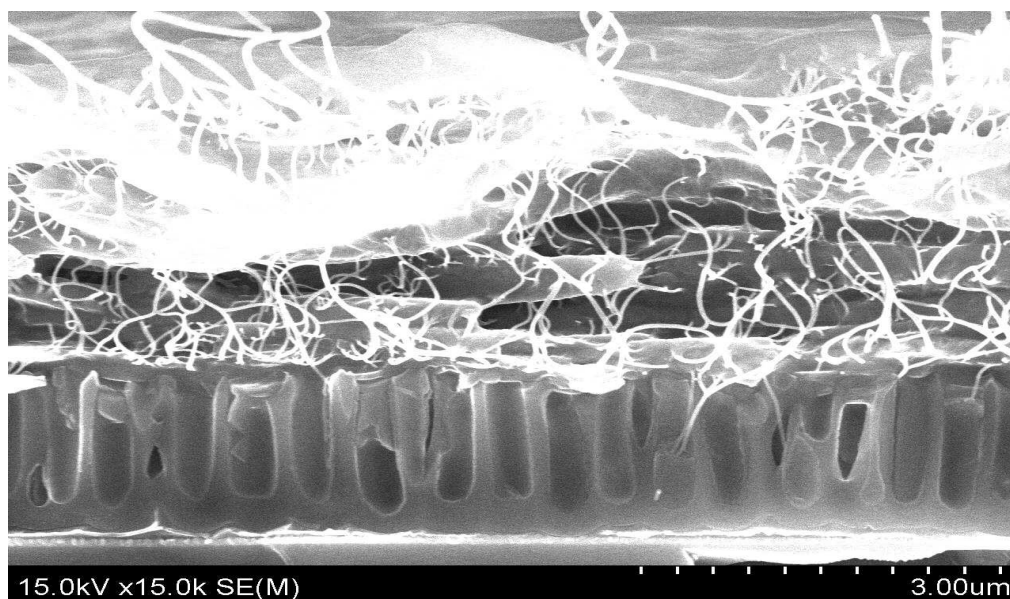
Сверхтонкие пленки и эпитаксиальные гомо- и гетерослоии оксидов олова и молибдена широко используются при создании эффективных фотопреобразователей, излучателей и сенсоров, а также для получения биполярных и полевых транзисторных структур на основе полупроводниковых соединений[1].

В последние несколько лет определилось новое направление организации наноструктурированных пленочных композитов, которое связано с использованием высокоупорядоченных матриц из углеродных нанотрубок. При совмещении методов нанопористого анодирования алюминия и последующего формирования в пористой матрице массивов углеродных нанотрубок открываются возможности для формирования уникальных пленок для перспективных светодиодов, микросенсоров, солнечных батарей и различных элементов микроэлектроники (тонопленочные резисторы, конденсаторы малой емкости, катушки индуктивности и др.)[2].

В данной работе проводились исследования процесса формирования оловянно-молибденовых оксидных пленок из водных растворов методом послойного осаждения на массивах углеродных нанотрубок (УНТ).

В качестве образцов использовали кремниевые подложки n-типа проводимости (4,5 Ом·см) с кристаллографической ориентацией (111), на которые методом магнетронного напыления в вакууме был нанесен слой Al толщиной 1,2 мкм. Формирование АОА проводили согласно электрохимической методике [3-4]. Углеродные нанотрубки (CNANO, США) наносили путем погружения АОА в их суспензию в пропиленкарбонате (0,5 мас.% УНТ).

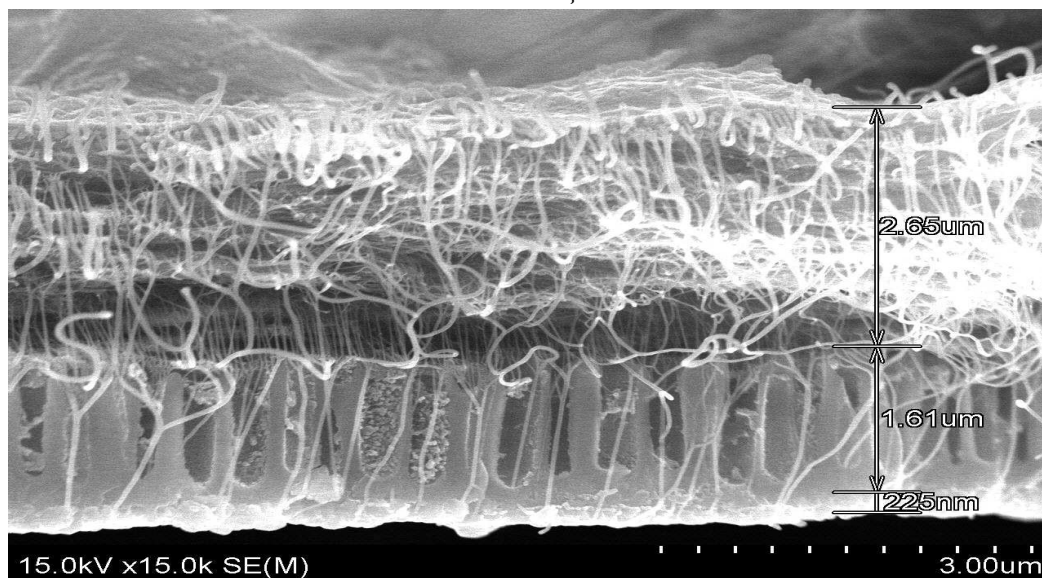
Синтез оксидных композитов осуществляли методом химического осаждения на поверхность УНТ гидроксидов молибдена и олова (Рисунок 1).



**Рисунок 1 – Микрофотография скола системы  $\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{УНТ}/\text{Sn}_x\text{Mo}_y\text{O}_z$  до обжига**

Полученный таким образом слой гидроксида на поверхности АОА после естественной сушки подвергали отжигу в аргоне при температуре  $750^\circ\text{C}$  в течение 30 мин (Рисунок 2).





**Рисунок 2 – Микрофотография скола системы Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/УНТ/Sn<sub>x</sub>Mo<sub>y</sub>O<sub>z</sub> после обжига при 750°C в аргоне**

После обжига системы Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/УНТ/Sn<sub>x</sub>Mo<sub>y</sub>O<sub>z</sub> наблюдается столбчатая структура нанотрубок с образовавшимся на них оксидным слоем, однако кристаллиды оксида не наблюдаются в пористой матрице, которая выполняла только роль ориентанта углеродных нанотрубок. Для формирования пленок из смешанных оксидов (MoO<sub>3</sub>–SnO<sub>2</sub>) чередовали слои различных гидроксидов металлов. Операции по нанесению повторяли 2-6 раз.

Элементный анализ Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/УНТ/Sn<sub>x</sub>Mo<sub>y</sub>O<sub>z</sub> показал присутствие молибдена (13,8 мас.%), кислорода (37,3 мас.%), углерода (24,8 мас.%), олова (18,4 мас.%) и алюминия (5,2 мас.%), что указывает на металл-оксидный характер образованной пленки на поверхности углеродных нанотрубок. Рентгено-фазовый анализ сформированных оксидных пленок Sn<sub>x</sub>Mo<sub>y</sub>O<sub>z</sub> после обжига при 750°C в аргоне показывает присутствие отдельных фаз оксидов MoO<sub>3</sub>, MoO<sub>2</sub>, MoO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Отсутствие фазы оксида олова указывает на формирование твердых растворов на основе оксидов молибдена.

Таким образом, полученный слой Sn<sub>x</sub>Mo<sub>y</sub>O<sub>z</sub> на массивах углеродных нанотрубок представляет собой смесь из оксидов MoO<sub>3</sub>, MoO<sub>2</sub>, MoO допированных оловом. Углеродные трубки в данном случае являются структурообразующей компонентой покрытия, значительно увеличивая удельную поверхность и закрепляя его в порах анодно-оксидной матрицы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов, С.А. Электрохимические процессы в технологии микро- и нано- электроники / С.А. Гаврилов, А. Н. Белов: учебное пособие. □ М: «Высшее образование»; 2009. - 257 с.
2. Zhylynski, V.V. The Chemical Deposition of Multicomponent Films in Nanoporous Anodic Alumina / V.V. Zhylynski, G.G. Gorokh, N.V. Bogomazova // The Book of Abstracts of the 12th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials (Nanosmat), Paris, 11-13 September 2017; Chief Editor: A. Taleb. – Paris: Pierre & Marie Curie University, 2017. – P. 131.
3. Formation of multicomponent matrix metal oxide films in anodic alumina matrixes by chemical deposition / G. G. Gorokh [et al.] // J. Phys.: Conf. Ser. – 2016. – Vol. 917, N. 9. – P. 362-367
4. Химический синтез смешанных металлооксидов  $S_nxMoyOz$  в матрицах анодного оксида алюминия / Г.Г. Горох [и др.] // Наноструктурные материалы – 2016: Беларусь – Россия – Украина: НАНО–2016 : материалы V Междунар. науч. конф., Минск, 22–25 нояб. 2016 г. / ред. совет: П.А. Витязь (пред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2016. – С. 168-171.

УДК 544.354.5[004.9:51]

Студ. Е. В. Никонов, Ю. С. Красовская, И. А. Шкода  
Науч. рук. асс. И. В. Шуляк, доц. И. Е. Малашонок,  
(кафедрах химии, технологии электрохимических производств  
и материалов электронной техники, БГТУ)

### **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ГЕТЕРОГЕННЫХ РАВНОВЕСИЙ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ, РЕАЛИЗОВАННЫХ В MATHCAD**

Равновесный процесс в насыщенном растворе малорастворимого электролита можно представить следующим образом:



Для описания данного равновесного процесса используется константа, называемая произведением растворимости ПР (или  $K_{sp}$ ):

$$ПР = a_A^m \cdot a_B^n,$$

где  $a_A, a_B$  – активности катиона А и аниона В соответственно,  $m, n$  – стехиометрические коэффициенты перед катионом и анионом соответственно.

ПР – термодинамическая константа, используемая для расчета растворимости малорастворимых электролитов при ионной силе раствора, равной нулю. Константа равновесия гетерогенного процесса (1), выраженная через равновесные концентрации, называется реальным произведением растворимости.

Растворимость  $S$  малорастворимого электролита, выраженная в молях вещества в 1 л раствора, связана с произведением растворимости соответственно со следующим выражением:

$$S = \sqrt[m+n]{\frac{\text{ПР}(A_m B_n)}{m^m n^n}} \quad (2)$$

В данной работе теоретически исследовалось равновесие в насыщенном водном растворе карбоната бария с учетом влияния на этот процесс введения электролитов, содержащих карбонат- и гидрокарбонат-анионы.

На первом этапе исследования проведен расчет и осуществлено сравнение растворимости карбоната бария в воде без учета и с учетом гидролиза образующегося карбонат-аниона, определено значение рН насыщенного раствора карбоната бария при 298 К.

При растворении устанавливается равновесие:  $\text{BaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$ . Равновесие данного процесса описывается константой:  $\text{ПР} = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$ . Карбонат-анионы в растворе подвергаются гидролизу по уравнению:  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ .

Для расчетов растворимости карбоната бария составим уравнение материального баланса по углероду:  $S = [\text{Ba}^{2+}] = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$ .

Баланс зарядов для данного процесса имеет вид:

$$2[\text{Ba}^{2+}] + [\text{H}^+] = 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{OH}^-].$$

Для точного расчета растворимости карбоната бария с учетом гидролиза запишем систему уравнений, включающую уравнения материального баланса и баланса зарядов, константы диссоциации угольной кислоты по 2-й ступени, произведения растворимости и автопротолиза воды. Решение данной системы уравнений в Mathcad представлено на листинге 1:

Расчет растворимости карбоната бария без учета гидролиза

$$K_{spBaCO_3} := 2.58 \cdot 10^{-9}$$

$$s_{BaCO_3 bezgidroliza} = \sqrt{K_{spBaCO_3} \cdot (137 + 60)} = 0.01$$

Расчет растворимости карбоната бария с учетом гидролиза

$$ORIGIN := 1$$

$$K_w := 10^{-14}$$

$$K_{a2H_2CO_3} := 4.9 \cdot 10^{-11}$$

$$\begin{pmatrix} H \\ OH \\ Ba \\ CO_3 \\ HCO_3 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 10^{-10} \\ 10^{-5} \\ 10^{-5} \\ 10^{-5} \\ 10^{-5} \end{pmatrix}$$

Given

$$Ba = CO_3 + HCO_3 \quad K_w = H \cdot OH \quad K_{spBaCO_3} = Ba \cdot CO_3$$

$$2Ba + H = 2CO_3 + HCO_3 + OH \quad K_{a2H_2CO_3} = \frac{H \cdot CO_3}{HCO_3}$$

$$M := \text{Find}(H, OH, Ba, CO_3, HCO_3)$$

$$M^T = (1.4 \times 10^{-10} \quad 7.3 \times 10^{-5} \quad 9.9 \times 10^{-5} \quad 2.6 \times 10^{-5} \quad 7.3 \times 10^{-5})$$

$$pH := -\log(M_1) = 9.863 \quad s_{BaCO_3} := M_3 \cdot (137 + 60) = 1.95 \times 10^{-2}$$

Сравнение растворимости карбоната бария в воде с учетом гидролиза

$$\frac{s_{BaCO_3}}{s_{BaCO_3 bezgidroliza}} = 1.95$$

### Листинг 1 - Расчет равновесных процессов в растворе карбоната бария

Анализ приведенного расчета показывает, что при учете гидролиза карбонат-аниона растворимость карбоната бария возрастает в 1,95 раза. Поэтому, в случае проведения точных расчетов растворимости малорастворимых электролитов пренебрегать гидролизом образующихся ионов нельзя, так как погрешности данных расчетов могут быть существенными.

Далее были проведены расчеты растворимости карбоната бария в 0,01 М растворе гидрокарбоната натрия.

ORIGIN := 1

$K_{spBaCO_3} := 2.58 \cdot 10^{-9}$   $C_0NaHCO_3 := 0.01$

$K_{a2H_2CO_3} := 4.9 \cdot 10^{-11}$   $Na := C_0NaHCO_3$

$K_{a1H_2CO_3} := 4.47 \cdot 10^{-7}$   $K_w := 10^{-14}$

$$\begin{pmatrix} H \\ OH \\ Ba \\ CO_3 \\ HCO_3 \\ H_2CO_3 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 10^{-9} \\ 10^{-5} \\ 10^{-6} \\ 10^{-4} \\ 0.01 \\ 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Given

$$C_0NaHCO_3 = CO_3 + HCO_3 + H_2CO_3 \quad K_{a1H_2CO_3} = \frac{H \cdot HCO_3}{H_2CO_3}$$

$$2Ba + H + Na = 2CO_3 + HCO_3 + OH \quad K_{a2H_2CO_3} = \frac{H \cdot CO_3}{HCO_3}$$

$$K_{spBaCO_3} = Ba \cdot CO_3 \quad K_w = H \cdot OH$$

$M := \text{Find}(H, OH, Ba, CO_3, HCO_3, H_2CO_3)$

$$M^T = (3.9 \times 10^{-9} \quad 2.6 \times 10^{-6} \quad 2.1 \times 10^{-5} \quad 1.2 \times 10^{-4} \quad 9.8 \times 10^{-3} \quad 8.5 \times 10^{-5})$$

$$pH := -\log(M_1) = 8.412$$

Растворимость карбоната бария в растворе гидрокарбоната натрия

$$s_{BaCO_3 \text{ in } NaHCO_3} := M_3 \cdot (137 + 60) = 4.102 \times 10^{-3}$$

Растворимость карбоната бария в водном растворе

$$s_{BaCO_3} := \sqrt{K_{spBaCO_3}} \cdot (137 + 60) = 0.01$$

Сравнение растворимостей карбоната бария в зависимости от условий

$$\frac{s_{BaCO_3}}{s_{BaCO_3 \text{ in } NaHCO_3}} = 2.44$$

## Листинг 2 - Расчет равновесных процессов в растворе карбоната бария в присутствии 0,01 М гидрокарбоната натрия

Анализ приведенного расчета показывает, что при введении гидрокарбонат-анионов в раствор растворимость карбоната бария снижается в 2,44 раза.

**Выводы.** Проведены теоретические исследования процессов, протекающих в насыщенном водном растворе карбоната бария, с учетом гидролиза образующегося карбонат-иона, а также растворение карбоната бария в присутствии гидрокарбонат-анионов. Показано, что различие в расчетах без учета гидролиза составляет порядка 100%. Предложена

методика расчета сложно-определяемых равновесных концентраций ионов, образующихся при гидролизе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дорохова, Е. Н. Задачи и вопросы по аналитической химии. / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. – М.: Мир, 2001. – 267 с.
2. Васильев, В. П. Аналитическая химия: В 2 кн. Кн. 1: Титриметрические и гравиметрические методы анализа: учеб. для студ. вузов, обучающихся по химико-технол. спец. / В. П. Васильев. – М.: Дрофа, 2004. – 368 с.
3. Шуляк И.В., Малашонок И. Е. Расчёт равновесий в гомогенных растворах сильных и слабых электролитов. Біялогія і хімія. 2017, №5, с.50–56.
4. Шуляк И.В., Малашонок И.Е., Карпицкая А.В., Хлопина Т.С. Теоретическое исследование концентраций компонентов в растворах фосфорной кислоты. Материалы Международ. научно-практич. конференции по химии и хим. образованию «Менделеевские чтения – 2017», Брест, 24 февраля 2017 г.; БрГУ, Брест, 2017. – С.147–150.

УДК 621.794.4:661.862.22

Магистрант Т.В. Галковский  
Науч. рук. доц. Н.В. Богомазова,  
(кафедра химии, технологии электрохимических производств  
и материалов электронной техники, БГТУ)

### **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОННО- ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР, ВКЛЮЧАЮЩИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ОКСИДЫ Sn, W, Mo**

Получение наноразмерных слоев различных материалов, выяснение природы и закономерностей процессов, протекающих под действием различных энергетических факторов, представляют значительный интерес как для физики и химии твердого состояния, так и в связи с необходимостью разработки реальных систем с управляемым уровнем чувствительности к различным внешним воздействиям [1].

В мировом производстве применяется широкий спектр различных технологий нанесения пленочных покрытий, используемых в качестве активного слоя химических сенсоров, фотоэлементов, термогенераторов и других устройств. Однако зачастую для формирования пленок необходимо либо использование сложного оборудования, в част-

ности вакуумных установок, либо обеспечение жестких физико-химических условий, например, высоких температур обработки (более 500 °С). В связи с этим для процесса нанесения пленочных структур актуально использование простых и дешевых методов, таких как метод ионного наслаивания, по технологии «layerbylayer» [2].

Благодаря своим особым физико-химическим свойствам оксиды молибдена и олова находят применение в таких устройствах электронной техники, как электрохромные индикаторы и дисплеи, обратимые катоды литиевых батарей, газовые сенсоры, элементы памяти и др. [3].

В последнее время газочувствительные свойства пленок  $WO_3$  широко используются при создании резистивных и полупроводниковых сенсоров взрывоопасных ( $H_2$ ,  $C_xH_y$ ) и экологически вредных газов ( $CO$ ,  $NO_2$  и др.).

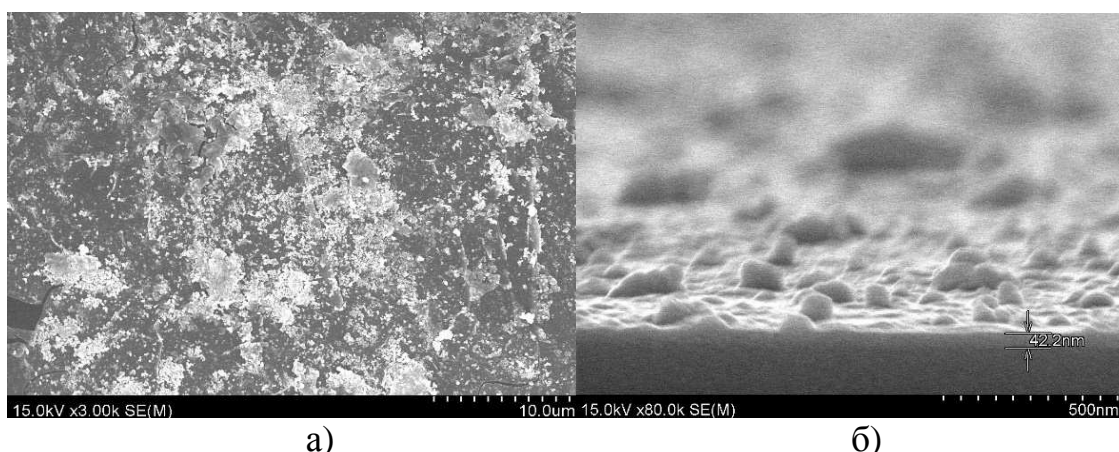
С помощью метода ионного наслаивания нами были сформированы пленки состава  $Sn_xW_yO_z$  и  $Sn_xMo_yO_z$  различной толщины при использовании различных прекурсоров. Функциональные покрытия с номинальной толщиной 20, 30 и 60 монослоев (МС) формировались на поверхности стеклянных подложек и кремниевых пластин.

**Таблица 1 – Условия получения оксидных пленочных структур**

№ Образца и его природа	Толщина функционального слоя		Условия получения
	Номинальная, МС	По данным электрон- микроскопии, мкм	
1 $Sn_xMo_yO_z$	20	$42 \cdot 10^{-3}$	0,01 $Na_2MoO_4$ pH=6,5; 0,01 $SnF_2$ pH=2,8
2 $Sn_xMo_yO_z$	30	0,946	0,01 $(NH_4)_2Mo_2O_7$ pH=6,5; 0,01 $SnF_2$ pH=2,8
3 $Sn_xW_yO_z$	30	$48 \cdot 10^{-3}$	0,01 $Na_2WO_4$ pH=8,0; 0,01 $SnCl_2$ pH=2,8
4 $Sn_xW_yO_z$	60	36,1	0,01 $Na_2WO_4$ pH=8,0; 0,01 $SnF_2$ pH=2,8

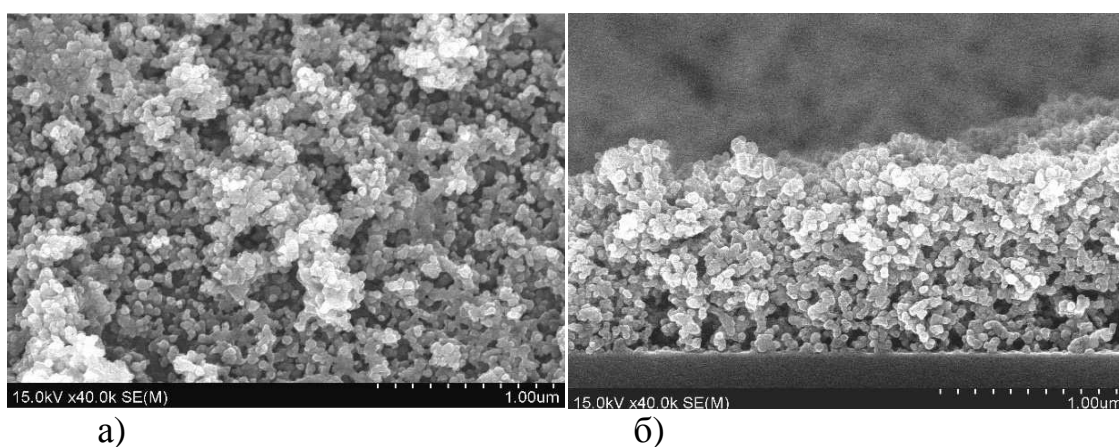
Для синтеза образцов нами использовались растворы  $Na_2MoO_4$ ,  $Na_2WO_4$ ,  $(NH_4)_2Mo_2O_7$ ,  $SnF_2$  и  $SnCl_2$  с концентрацией 0,01 моль/л. Выдержка в каждом из растворов длилась в течении 30 с, после чего проводилась окончательная термическая обработка при температуре 100 °С в течении 30 мин (таблица 1).

Анализ данных электронной микроскопии образца № 1 позволяет сделать вывод о том, что наслаивание протекало очень медленно при использовании раствора  $Na_2MoO_4$ , в то время как в случае образца № 2, наслаивание протекало значительно быстрее (рисунок 1, 2).



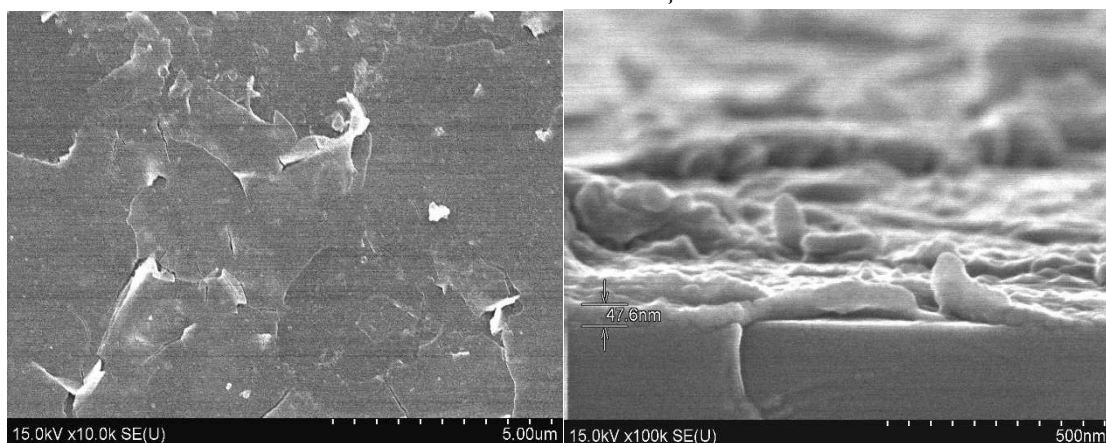
а) б)  
**Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) образца № 1**

В случае образца № 3, при синтезе которого использовался хлорсодержащий катионный прекурсор, не наблюдалось существенного роста функционального слоя, в то время как в случае образца № 4 зафиксировано аномально скоростное зарастивание подложки (рисунок 3, 4).



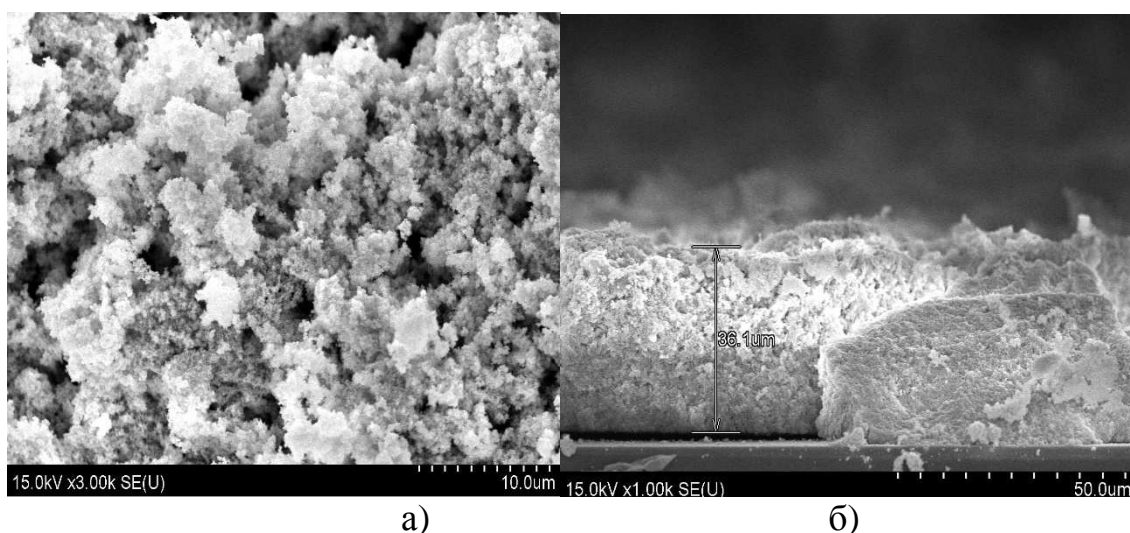
а) б)  
**Рисунок 2 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) образца № 2**





а)  
б)

**Рисунок 3 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) образца № 3**



а)

б)

**Рисунок 4 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) образца № 4**

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что молибденсодержащие слои формируются с пониженной скоростью. Для повышения скорости наслаивания пленки предпочтительно использование фторида, а не хлорида олова, а также катионных прекурсоров более сложного состава (таблица 1). Как видно из приведенных изображений, пленки, сформированные с использованием раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ , имеют ярко выраженное гранулированное строение и соответственно облают более развитой поверхностью.

Исследование электрофизических свойств структур № 1 и № 2 оказалось затруднительным, так как наблюдалось электросопротивле-

ние на уровне  $10^{11}$  Ом. Температурная зависимость электросопротивления образца № 3 указывает, что с ростом температуры электросопротивление повышается, в то время как данная зависимость для образца № 4 указывает на то, что с ростом температуры электросопротивление понижается (таблица 2).

**Таблица 2 – Электрофизические свойства полученных структур**

№ образца	R <sub>20</sub>	R <sub>280</sub>	R <sub>20</sub> /R <sub>280</sub>
1	≈10 <sup>11</sup> Ом	≈10 <sup>11</sup> Ом	-
2	≈10 <sup>11</sup> Ом	≈10 <sup>11</sup> Ом	-
3	322 кОм	1456 кОм	0,221
4	6,12 МОм	19,14 кОм	319,71

Исследование хемочувствительных свойств полученных структур показало, что существенный отклик на присутствие химически активных газов в воздушной среде продемонстрировал образец № 4. В частности, при напуске паров уксусной кислоты при температуре функционального хемочувствительного слоя 100 °С уменьшение поверхностного электросопротивления образца составило 86 %. Однако при этом наблюдается повышенное время отклика у данных структур.

На основании проведенной серии экспериментов по ионному наслаиванию и исследованию электрофизических свойств пленочных структур на основе смешанных оксидов Sn<sub>x</sub>W<sub>y</sub>O<sub>z</sub> и Sn<sub>x</sub>Mo<sub>y</sub>O<sub>z</sub> можно сделать вывод о том, что использование 0,01 М раствора SnF<sub>2</sub> в качестве катионного прекурсора и 0,01 М раствора Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> в качестве анионного прекурсора позволяет получать пленки толщиной до 30 мкм с развитой поверхностью. Подтверждена хемочувствительная активность вольфрамсодержащих слоев в присутствии паров уксусной кислоты в воздушной среде при невысокой температуре детектирования порядка 100 °С.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Толстой, В.П. Синтез тонкослойных структур методом ионного наслаивания/ В.П. Толстой Журнал неорганической химии // – 2013. – Т.40. – С. 240-245.
- 2 Антоненко, С.В. Технология тонких пленок: Учебное пособие / С.В. Антоненко. – М.: МИФИ. – 2014. – 104 с.
- 3 Обвинцева, Л. А. Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде /Л. А. Обвинцева // Российский химический журнал. – 2016. – Т. 22, № 2. – С.113–121.

УДК 532.135:531.212

Студ. М.С. Новицкая

Науч. рук-ль: проф., д-р техн. наук А.Н. Мурашкевич,  
(Кафедра химии, технологии электрохимических производств  
и материалов электронной техники)

## **О ВЛИЯНИИ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА**

Золь-гель технология нанодисперсного наполнителя электрореологических дисперсий с модифицированной структурой включает в себя следующие основные стадии: осаждение диоксида титана путем введения 20 % карбоната аммония в раствор частично гидролизованного тетрахлорида титана в воде, пептизация осадка, введение модифицирующих (МК) и структурирующего (СК) компонентов в полученный золь, СВЧ-сушка, измельчение и прокалка. На этой стадии происходят процессы структурно-фазовых превращений основного, структурирующего компонента и модификаторов с образованием модифицированного нанодисперсного продукта. Получаемый по данной технологии наполнитель обладает удельной поверхностью 90–120 м<sup>2</sup>/г, имеет структуру анатаза с размером кристаллитов 10–15 нм [1].

Для определения влияния условий сушки промежуточного продукта и природы модифицирующих компонентов на его физико-химические и функциональные свойства был синтезирован ряд образцов. По полученным результатам (см. табл.1) можно сделать вывод, что метод СВЧ-сушки позволяет увеличить значение удельной поверхности, а помимо этого значительно сокращает время синтеза продукта, при этом метод СВЧ-сушки не ухудшает конечные электрореологические характеристики наполнителя.

Ранее показано [2], что модификация диоксида титана одновременно алюминием и фосфором позволяет заметно увеличить электрореологический отклик дисперсий, а также уменьшить плотности токов утечки (см. табл.1). Большие токи утечки являются нежелательными, в связи с большой вероятностью появления сквозной проводимости, которая приводит к пробое образцов.

Для уточнения оптимального содержания алюминия в модифицированном продукте синтезирован ряд образцов, количество алюминия в которых варьировали в интервале 2 –10 мол.%, при этом содержание Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> составило 1 мол.%.

**Таблица 1 - Влияние условий сушки промежуточного продукта и природы модификатора на свойства электрореологических дисперсий (ЭРД) на основе диоксида титана**

№ образца	Модификатор		$\rho_{\text{нас},3}$ г/см <sup>3</sup>	$S_{\text{уд},2}$ м <sup>2</sup> /г	Электрореологический отклик E=3,5 кВ/мм; $\gamma=17 \text{ с}^{-1}$	
	Природа	Содержание по отношению к Ti, мол.%			$\tau$ , Па	J, мкА/см <sup>2</sup>
1	(AlNO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	10	0,75	72	83	1,42
2*			0,65	90	116	1,45
3	(AlNO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	10	0,74	76	82	0,55
4*	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1**	0,84	91	84	0,53

Примечание: \* – СВЧ-сушка; \*\* – в пересчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Соотношение TiO<sub>2</sub> : (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>=1:1

По полученным данным (см. табл. 2) можно сделать вывод, что количество алюминия не сказывается на величине насыпной плотности продукта, но при увеличении содержания алюминия прослеживается тенденция к росту значения удельной поверхности. Таким образом, содержание алюминия в продукте можно варьировать в интервале от 6 до 10 мол.%. Такой состав наполнителя по модифицирующим компонентам обеспечивает наиболее высокие значения напряжения сдвига и малые значения плотностей тока утечки как при максимальных значениях напряженности прикладываемого электрического поля, так и при промежуточных.

**Таблица 2 – Влияние количества алюминия в модифицированном продукте на структурно-адсорбционные и функциональные свойства**

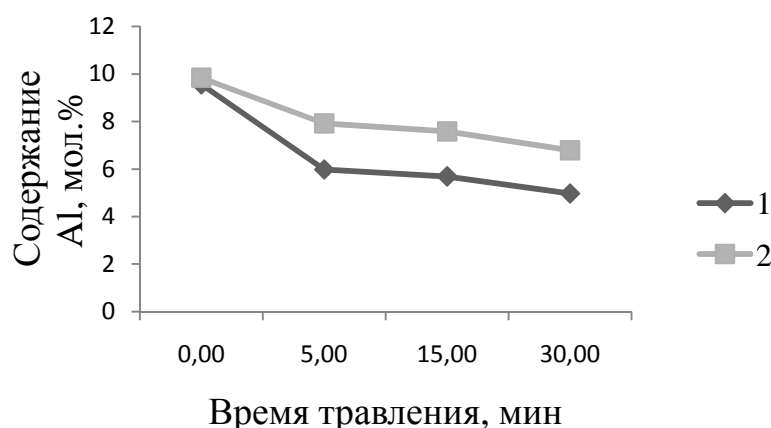
№ образца	Модификатор		$\rho_{\text{нас},3}$ г/см <sup>3</sup>	$S_{\text{уд},2}$ м <sup>2</sup> /г	Электрореологический отклик E=3,5 кВ/мм; $\gamma=17 \text{ с}^{-1}$	
	Природа	Содержание по отношению к Ti, мол.%			$\tau$ , Па	J, мкА/см <sup>2</sup>
1	(AlNO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	2 1**	0,98	74	106	0,92
2	(AlNO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	4 1**	1,08	82	76	0,40
3	(AlNO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	6 1**	0,94	92	142	0,67
4	(AlNO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	8 1**	0,99	101	142	1,01
5	(AlNO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	10 1**	0,83	104	125	0,25

Примечание: \*\* - в пересчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Соотношение TiO<sub>2</sub> : (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>=1:1

С целью установления состояния алюминия в образцах наполнителя использован метод последовательного травления. Суть метода заключалась в следующем: навеску готового продукта (см. табл. 3) обрабатывали в 1М растворе  $H_2SO_4$  в течение 5, 15 и 30 мин. Эта процедура позволила профилировать объемную концентрацию модификатора в допированных образцах в зависимости от времени травления. Элементный состав образцов до и после травления определяли по энергодисперсионным спектрам с использованием метода растровой электронной микроскопии. Результаты исследований показали (см. рис.1), что около 50% от добавляемого количества алюминия находится в объеме частиц  $TiO_2$ , остальное – на поверхности диоксида титана в виде оксида алюминия.

**Таблица 3 – Характеристика исследуемых образцов на рисунке 1**

№ образца	Природа модификатора	Температура обработки, °С	$\rho_{нас}$ , г/см <sup>3</sup>	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г
1	$TiO_2+10\% Al+ 1\%P_2O_5$	700	0,75	100
2	$TiO_2+10\% Al+ 1\%P_2O_5$	600	0,55	149



**Рисунок 1 – Содержание алюминия в образцах от времени травления в  $H_2SO_4$**

Как видно в табл. 4, увеличение количества структурирующего компонента способствует росту дисперсности конечного продукта и улучшению его электрореологических свойств. Однако сравнение свойств образцов 1 и 2–7 позволяет отметить более существенное влияние наличия модифицирующих компонентов на структурно-адсорбционные свойства наполнителя. Следует отметить, что наряду с высокими значениями сдвиговых усилий электрореологических дисперсий установлены малые значения токов утечки, что открывает воз-

возможности использования электрореологических дисперсий с более высокой концентрацией наполнителя.

**Таблица 4 – Влияние количества структурирующего компонента на свойства диоксида титана, модифицированного алюминием и фосфором**

№ образца	Соотношение $\text{TiO}_2: (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	Результаты			
		$\rho_{\text{нас}}, \text{Г/см}^3$	$S_{\text{уд}}, \text{М}^2/\text{Г}$	Электрореологический отклик $E=3,5 \text{ кВ/мм}; \gamma=17 \text{ с}^{-1}$	
				$\tau, \text{Па}$	$J, \text{мкА/см}^2$
1 <sup>^</sup>	1:1	0,83	6	-	-
2	1:0,1	0,77	72	64	0,23
3	1:0,25	0,76	78	83	0,27
4*	1:0,375	0,87	93	87	0,29
5	1:0,5	0,63	100	78	0,3
6	1:0,75	0,49	118	-	-
7	1:1	0,61	104	125	0,5

Примечание: \* - измельчение в ступке; <sup>^</sup> – образец без модификатора; содержание наполнителя в ЭРД 5 мас.%.

Проанализировав результаты экспериментальных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. СВЧ-сушка промежуточного продукта позволяет существенно уменьшить время синтеза, при этом не установлено негативное влияние данного метода сушки на эксплуатационные свойства наполнителя.

2. Комплексное модифицирование диоксида титана (алюминием и фосфором) позволяет получить продукт, для которого характерны малые плотности токов утечки в сравнении с продуктом, модифицированным только алюминием.

3. Установлен диапазон варьирования количества алюминия от 6 до 10 мол.% . При этом наблюдаются наиболее высокие значения напряжения сдвига в ЭРД и малые значения плотностей токов утечки.

4. Показано, что порядка 50% от вводимого количества алюминия находится в объеме частиц  $\text{TiO}_2$ . Остальное – на поверхности частиц диоксида титана в виде оксида алюминия.

5. При увеличении количества добавляемого карбоната аммония как структурирующего компонента прослеживается тенденция

увеличения значений удельной поверхности и улучшения функциональных свойств продукта как наполнителя.

Выражаем благодарность лаборатории реофизики и макрокинетики ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ за предоставленные результаты исследования электрореологических свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Murashkevich A.N., Alisienok O.A., Zharskiy I.M., Korobko E.V., Zhuravsky N.A., Novikova Z.A. Physicochemical and Electrorheological Properties of Titanium Dioxide Modified with Metal Oxides // Colloid Journal. 2014. Т.76. № 4. P. 506–512.

2. А. Н. Мурашкевич, О. А. Алисиенок, И. М. Жарский, Е. В. Коробко, З. А. Новикова. Влияние условий получения наноразмерного диоксида титана, модифицированного алюминием, на эффективность его применения в электрореологических дисперсиях Коллоид. ж., 2017, т.79, №1, С. 65–72.

УДК 549.5:54–165:536.21:536.413:537.31/.32

Студ. Г.Г. Печенова, В.В. Саскевич  
Науч. рук. доц., канд. хим. наук И.А. Великанова,  
доц., канд. хим. наук Г.П. Дудчик  
(кафедра физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ)

### **СИНТЕЗ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА ВИСМУТА**

В последние годы отмечается стремительное возрастание интереса к обширному классу веществ – мультиферроикам (МФ) на основе  $\text{BiFeO}_3$ , связанного сочетанием в них как магнитного ( $T_N = 643 \text{ K}$ ), так и сегнетоэлектрического ( $T_C = 1083 \text{ K}$ ) упорядочений. Наиболее известным мультиферроиком является феррит висмута ( $\text{BiFeO}_3$ ), в котором экспериментально подтверждено сосуществование магнитных и сегнетоэлектрических упорядочений. В связи с этим твёрдые растворы на основе феррита висмута являются перспективным материалом для радио-, акусто- и оптоэлектроники, пригодным для изготовления оптических дисплеев, пьезоэлектрических преобразователей, фильтров, радиотехнических конденсаторов, а также запоминающих устройств различных типов, которые по своим характеристикам будут во много раз превосходить используемые в настоящее время [1, 2].

Замещение части катионов  $\text{Vi}^{3+}$  в  $\text{ViFeO}_3$  изовалентными катионами редкоземельных элементов приводит к существенному изменению физических свойств мультиферроиков, исследование которых, а также управление требуемыми магнитными и электрическими характеристиками представляют научный и практический интерес [3, 4].

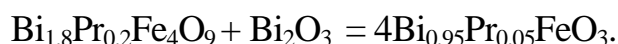
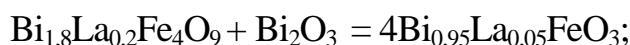
Целью данной работы является синтез и исследование диэлектрических свойств твердых растворов мультиферроиков на основе феррита висмута.

В результате проведенных на кафедре физической, коллоидной и аналитической химии исследований было установлено [2], что получение феррита висмута твердофазным керамическим методом из стехиометрической смеси оксидов бесперспективно, так как продукт загрязняется примесными фазами: силленитом состава  $\text{Vi}_{25}\text{FeO}_{39}$  и муллитом состава  $\text{Vi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ .

На кафедре физической, коллоидной и аналитической химии был разработан двухстадийный метод синтеза твердых растворов на основе феррита висмута [5]. Первая стадия синтеза представляет собой получение замещенных прекурсоров из соответствующих оксидов висмута, железа, лантана или празеодима, взятых в нужном стехиометрическом соотношении, например:



Вторая стадия – синтез МФ твердофазным взаимодействием прекурсоров с оксидом висмута по реакциям:



Установлено, что двухстадийный синтез обеспечивает более полное взаимодействие реагентов и получение конечных продуктов с наименьшим содержанием примесных фаз.

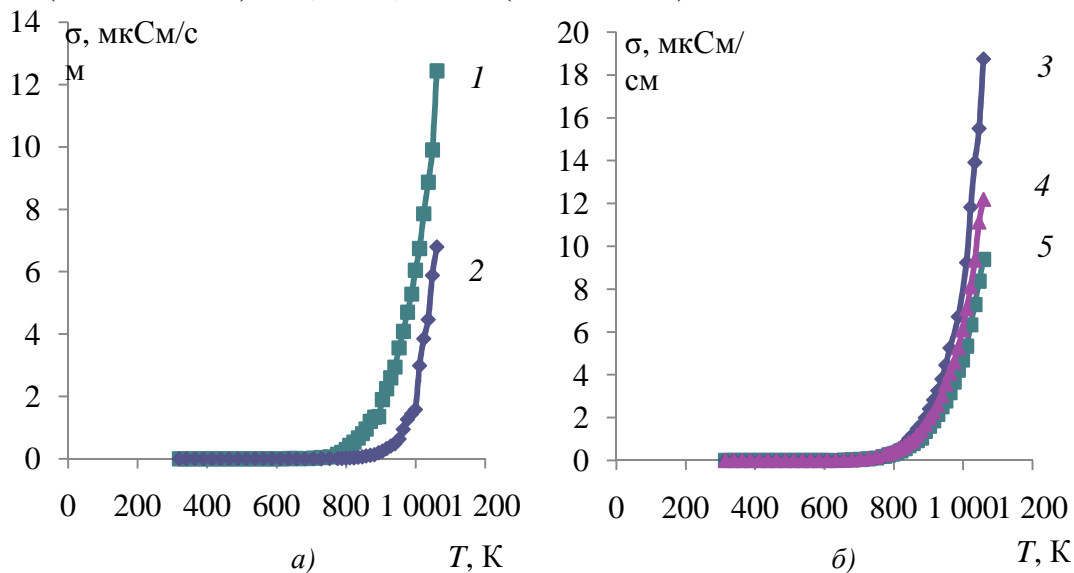
На основании данных рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии определены оптимальные температурно-временные условия синтеза твердых растворов сегнетомагнетиков. Рассчитаны параметры кристаллических решеток твердых растворов, которые хорошо согласуются с литературными данными для незамещенного феррита висмута  $\text{ViFeO}_3$ .



Были исследованы температурные зависимости удельной электропроводности, диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь полученных твердых растворов.

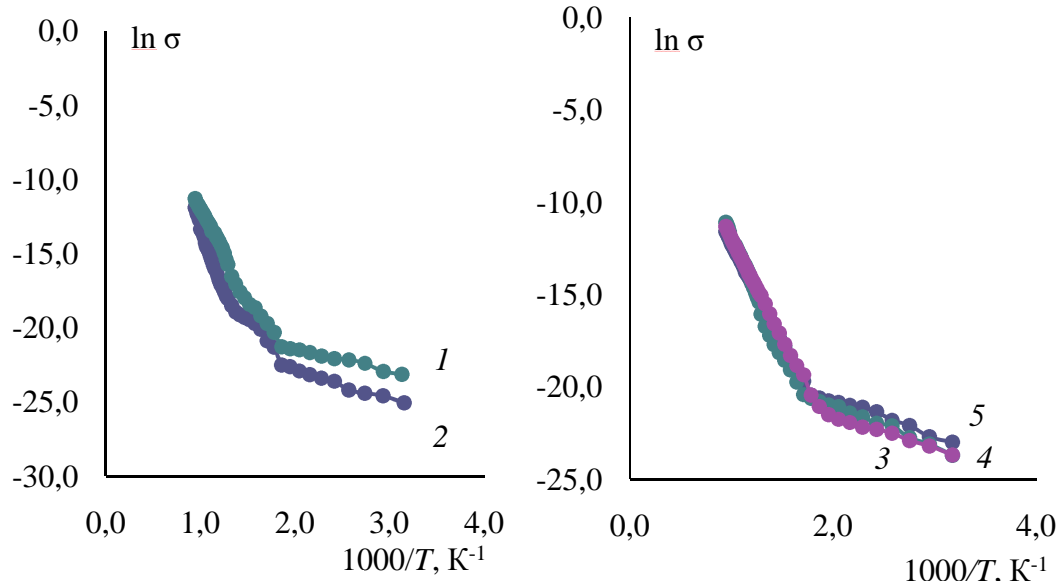
Результаты измерений удельной электропроводности ( $\sigma$ ) полученных твердых растворов показывают, что увеличение температуры приводит к возрастанию электропроводности (рис. 1). При изменении температуры в интервале 300–1100 К удельная электропроводность исследуемых твердых растворов возрастает от  $1,1 \cdot 10^{-10}$  См/см до  $18,4 \cdot 10^{-6}$  См/см. Такой характер температурной зависимости  $\sigma$  свидетельствует о полупроводниковой природе электрической проводимости исследуемых образцов МФ.

На температурных зависимостях  $\ln \sigma$  от  $1/T$  (рис. 2) для исследуемых твердых растворов наблюдается излом в области температур 540–556 К (вблизи температуры Нееля), что можно интерпретировать возможным антиферромагнитным фазовым переходом. В диапазонах температур, которые соответствуют линейным участкам зависимости  $\ln \sigma$  от  $1/T$ , определена энергия активации электрической проводимости полученных твердых растворов. Для твердых растворов  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  энергия активации электрической проводимости составила 0,92–1,1 эВ для интервала температур 700–1000 К и 0,15–0,33 эВ для интервала температур 360–520 К, а для  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$  и  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$  0,99–1,0 эВ (700–1000 К) и 0,09–0,13 эВ (360–520 К).



1 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч); 2 –  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 0,5$  ч) (а); 3 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 830^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 0,5$  ч); 4 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 830^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч); 5 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч) (б)

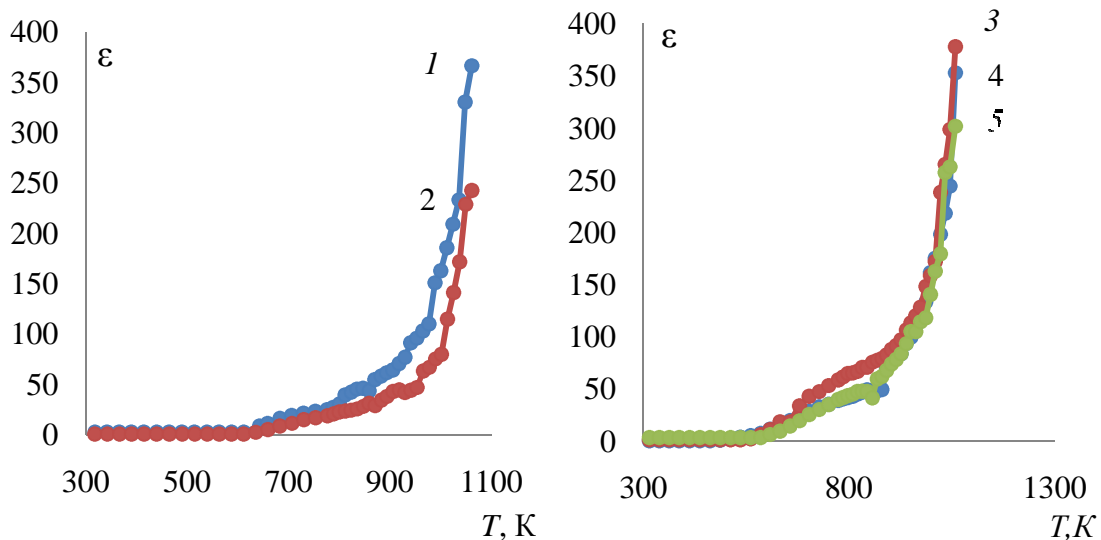
Рисунок 1 – Температурная зависимость удельной электропроводности твердых растворов



1 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч); 2 –  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 0,5$  ч) (а);  
 3 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 830^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 0,5$  ч); 4 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 830^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч);  
 5 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч) (б)

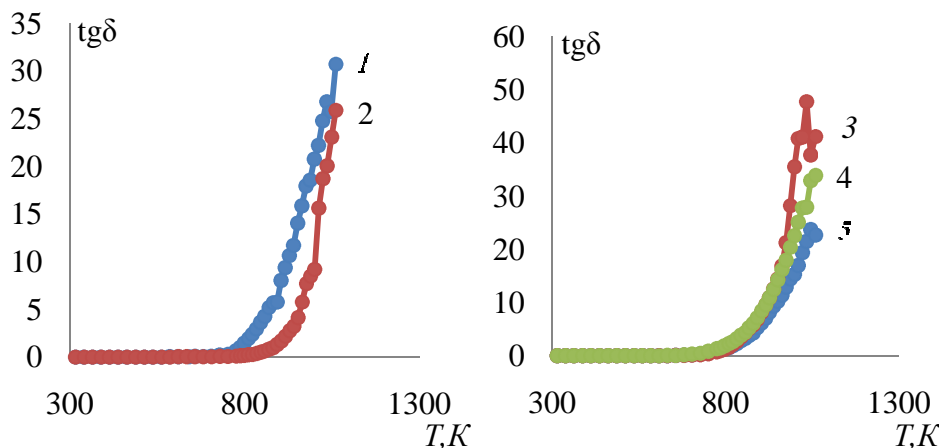
Рисунок 2 – Зависимость  $\ln \sigma$  от  $1/T$  для твердых растворов

С ростом температуры диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ) и тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg} \delta$ ) всех полученных твердых растворов увеличиваются (рис. 3–4), что согласуется с характером температурной зависимости их удельной электрической проводимости.



1 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч); 2 –  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 0,5$  ч) (а);  
 3 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 830^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 0,5$  ч); 4 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 830^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч);  
 5 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч) (б)

Рисунок 3 – Температурная зависимость диэлектрической проницаемости твердых растворов



1 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч); 2 –  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 0,5$  ч) (а); 3 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 830^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 0,5$  ч); 4 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 830^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч); 5 –  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  ( $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч) (б)

Рисунок 4 – Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь твердых растворов

При увеличении степени замещения ионов висмута ионами лантана, т.е. при переходе от  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$  к  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ , величина диэлектрических потерь снижается (рис. 4, а). На зависимости  $\text{tg}\delta = f(T)$  в области температур 1020–1050 К наблюдаются аномальные участки, связанные, вероятно, с фазовым переходом «сегнетоэлектрик-параэлектрик».

Таким образом, были синтезированы твердые на основе феррита висмута  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ ,  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ ,  $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$  с помощью нового двухстадийного керамического метода, определены параметры их кристаллической решетки и исследованы диэлектрические свойства полученных образцов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макоед И. И. Получение и физические свойства мультиферроиков. Брест: БрГУ, 2009. 181 с.
2. Затюпо А. А. Физико-химические свойства твердых растворов на основе феррита висмута и кобальтитов, галлатов лантана, самария со структурой перовскита: дис...канд. хим. наук: 02.00.21, 02.00.04. Минск, 2013. 190 с.
3. Звездин А. К., Пятаков А. П. Фазовые переходы и гигантский магнитоэлектрический эффект в мультиферроиках. Успехи физических наук. 2004. Т. 174, № 4. С. 465–470.
4. Вербенко И. А., Резниченко Л. А. Инновации в области функционального материаловедения. Инноватика и экспертиза. 2014. Вып.1(12). С. 40–54.
5. Башкиров Л. А. и др. Синтез и структура твердых растворов  $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$  и  $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ , полученных с использованием прекурсоров  $\text{Bi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$ ,  $\text{Bi}_{1,6}\text{La}_{0,4}\text{Fe}_4\text{O}_9$  и оксида  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . // Труды БГТУ. 2016. №3: Химия технология неорган. в-в. – С. 93–99.

УДК 621.37

Студ. Д.В. Кузьмицкий,  
 Науч. рук. доц. Д.С. Карпович; асс. Д.А. Сидорчик  
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ХОПФИЛДА

На сегодняшний день системы технического зрения нашли большое применение в производстве, медицине, автомобилях. Поэтому важной задачей стоит использование умной системы технического зрения, которая будет самостоятельно принимать решения исходя из полученного опыта при обучении. Такой системой является система технического зрения на основе нейронной сети Хопфилда.

Сеть Хопфилда представлена в виде системы с обратной связью выхода сети с ее входом. Выходные сигналы нейронов являются одновременно входными сигналами сети. В классической сети Хопфилда отсутствует связь выхода нейрона с собственным входом, что соответствует значению веса 0 на главной диагонали матрицы, а матрица весов является симметричной.

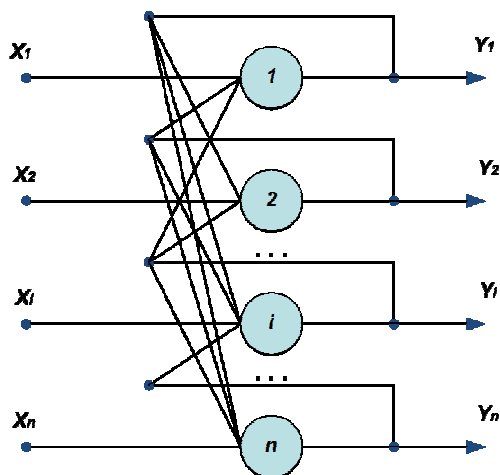


Рисунок 1 – Структурная схема классической сети Хопфилда

Входной сигнал - вектор  $X = \{x_i; i=1, \dots, n\}$ , где  $n$  – число нейронов в сети и размерность входных и выходных векторов. Каждый элемент  $x_i$  равен  $+1$ , или  $-1$ .

Вектор  $k$ -го примера -  $X^k$ , а его компоненты -  $x_i^k$ ,  $k=1, \dots, m$ , где  $m$  – число примеров. Если образ распознан, выход сети равен  $Y = X^k$ , где  $Y$  – вектор выходных значений сети:  $Y = \{y_i; i=1, \dots, n\}$ .

Для инициализации классической сети Хопфилда используется матрица весов:

$$w_{ij} = \begin{cases} \sum_{k=1}^m x_i^k x_j^k, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases}$$

где  $i$  и  $j$  – индексы соответственно предсинаптического и постсинаптического нейронов;  $x_{ik}$ ,  $x_{jk}$  –  $i$ -ий та  $j$ -ый элементы вектора  $k$ -го примера.

Так как в классической сети Хопфилда отсутствует связь выхода нейрона с входом, то все элементы главной матрицы весов равны 0.

В качестве входных данных сети Хопфилда можно использовать двоичные значения. Здесь мы будем использовать +1 для обозначения состояния «включено» и (-1) для состояния «выключено». Расчет суммарного сигнала  $net_j$  нейрона  $S_i$  вычисляется по формуле:

$$net_j = \sum_{i=1}^n S_i * W_{ij}$$

где  $S_i$  – обозначает состояние нейрона с номером  $i$ .

Когда элемент обновляется, его состояние изменяется в соответствии с правилом:

$$S_j = \begin{cases} +1, & \text{если } net_j > 0 \\ -1, & \text{если } net_j < 0 \end{cases}$$

Эта зависимость называется сигнум - функцией и записывается следующим образом:  $S_j = \text{sgn}(net_j)$ . Если комбинированный ввод равен 0, то элемент остается в состоянии, в котором он был до обновления.

Сеть Хопфилда ведет себя как память и процедура сохранения отдельного вектора (образца) представляет собой вычисление прямого произведения вектора с ним самим. В результате этой процедуры создается матрица, задающая весовые значения сети Хопфилда, в которой все диагональные элементы должны быть установлены равными 0 (поскольку диагональные элементы задают автосвязи элементов, а элементы сами с собой не связаны).

Таким образом, весовая матрица, соответствующая сохранению вектора  $X$ , задается следующей формулой:  $W = X^T X$

Рассмотрим пример использования сети Хопфилда для запоминания и ассоциации образцов. Исходный образец: [1 -1 1 1].

Вычисление прямого произведения вектора с ним самим:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} * [1 \ -1 \ 1 \ 1] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Весовая матрица обнуления всех элементов главной диагонали:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Первый элемент обновляется путем умножения образца на первый столбец матрицы весов ( $\text{sgn}(3) = 1$ ):

$$[1 \ -1 \ 1 \ 1]^* \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 3$$

Отметим, что первый элемент вектора  $[1 \ -1 \ 1 \ 1]$  остался в том же состоянии (1). Аналогично рассчитываются состояния оставшихся элементов:  $-1 \ 1 \ 1$

Проверим устойчивое состояние сети Хопфилда для найденных весов  $W$ , но для искаженного образца:  $[-1 \ -1 \ 1 \ 1]$ .

Элементы должны обновляться в случайном порядке. Для иллюстрации будем обновлять элементы в порядке 3, 4, 2, 1. Сначала рассмотрим 3-ий элемент ( $\text{sgn}(1) = 1$ ):

$$[-1 \ -1 \ 1 \ 1]^* \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 1$$

3-ий элемент не поменял своего значения (1). Рассмотрим состояние для 4-го элемента ( $\text{sgn}(1) = 1$ ):

$$[-1 \ -1 \ 1 \ 1]^* \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = 1$$

Элемент 4-ый остается в том же состоянии (1). Теперь рассмотрим 1-ый элемент ( $\text{sgn}(3) = 1$ ):

$$[-1 \ -1 \ 1 \ 1]^* \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 3$$

Следует отметить, что 1-ый элемент изменил свое состояние с -1 на 1. Рассмотрим состояние для 2-го элемента ( $\text{sgn}(-3) = -1$ ):

$$[1 \ -1 \ 1 \ 1]^* \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} = -3$$

Элемент 2-ой остается в том же состоянии (-1). Следует отметить, что мы выявили исходный вектор  $[1 \ -1 \ 1 \ 1]$ , характеризующий устойчивое состояние сети. Определим весовую матрицу сети Хопфилда для двух образцов:  $[-1 \ 1 \ -1]$  и  $[1 \ -1 \ 1]$

При запоминании двух и более образцов используем процедуру сложения полученных матриц. В результирующей матрице обязательно обнуляем главную диагональ:

$$W = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} [-1 \ 1 \ -1] + \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} [1 \ -1 \ 1]; W = \begin{bmatrix} 0 & -2 & 2 \\ -2 & 0 & -2 \\ 2 & -2 & 0 \end{bmatrix}$$

Существует зависимость между количеством элементов сети  $N$  и количеством образцов, которые она может запомнить. Так, для запоминания 100 образцов необходимо иметь сеть с больше 1500 входов.

**Вывод:** Система технического зрения на основе нейронной сети Хопфилда имеет ряд преимуществ перед современными системами технического зрения. Она способна запоминать любые образы. Для запоминания образа достаточно ее обучить. Если нам необходимо повысить точность распознавания мы можем увеличить размер исходной матрицы. Хорошо обученная система технического зрения на основе нейронной сети Хопфилда не дает ошибок при распознании образа в отличие от систем технического зрения, в основе которых лежат алгоритмы. При увеличении размера исходной матрицы увеличивается точность, но также растет время распознавания образа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kuzmicki Dominik, Sidorchik Dzmitry - Vision system for product quality control / Science Future of Lithuania: сб. статей межд. науч.-практ. конференции. — Вильнюс: VGTU, 2017. — С. 293-296.

УДК 614.84

Студ. В.И. Лакуцевич, Б. В. Сенкевич

Науч. рук. доц. Д.А. Гринюк

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

ст. преп. И.Г. Сухорукова

(кафедра программной инженерии, БГТУ)

## **МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОДСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ**

Методы настройки регуляторов предназначены, во первых, для перенастройки регуляторов в автоматическом режиме. Перенастройка требуется, когда объект изменяет свои характеристики. Во вторых для снижения затрат человеческого труда на установку, настройку и обслуживание системы. Успешная реализация методов автоподстройки позволяет, в конечном итоге снизить стоимость продукции.

**Виды подстройки регуляторов и принципы построения.** Существует **ручная**, и **автоматическая(адаптивная)** подстройка.

Ручная, когда человек в зависимости, от характеристик технологических, либо технических меняет настройки регулятора. При адаптивной автоподстройки, уже сама, заранее настроенная система будет изменять характеристики регулятора.

Этапы адаптивной подстройки: идентификация, расчет параметров регулятора, настройка, подстройка.

### **Основные принципы автоматической настройки**

- 1. Идентификация
- 2. Расчет параметров регулятора
- 3. Настройка
- 4. Подстройка(заключительная оптимизация настройки) (Рисунок 1)

Идентификация - получения математического описания объекта на основе экспериментально полученных сигналов на входе и выходе объекта. Расчет параметров регулятора осуществляется по известной математической модели полученной на предыдущем этапе. Настройка, это прошивка новых параметров регулятора в сам регулятор.

Последний этап по оптимизации параметром может присутствовать или отсутствовать. Его наличие приемлемо при недопустимых погрешностях 2-го эта. Эти погрешности могут возникать по причине, нелинейности объекта, некачественный монтаж и т.д. При использовании автоматической подстройки, мы можем не получить желаемого качества, по причинам, не зависящим от качества заложенных в него алгоритмов, в частности, плохой монтаж, большая задержка, высокий порядок объекта, помехи и т.д.



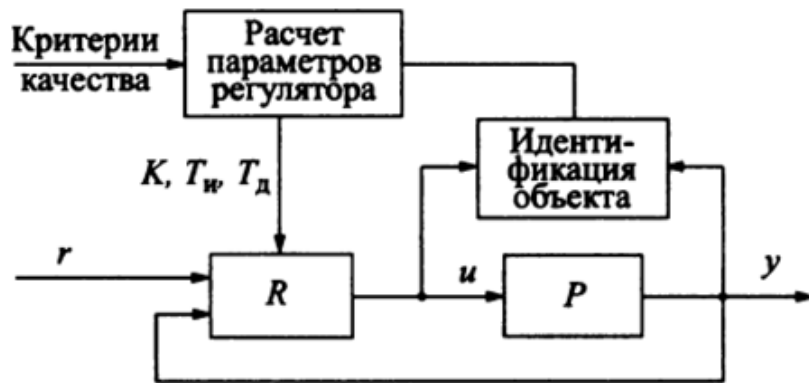


Рисунок 1 - Структурная схема системы с подстройкой

**Адаптивные методы подстройки.** Рассмотрим вида адаптивных метода подстройки регуляторов: Табличный метод(табличное управление); Нечеткая логика; Нейронная сеть; Генетические алгоритмы

**Табличное управление.** Табличное управления (Рисунок 2) является наиболее простым методом адаптации регулятора к изменению свойств объекта. Принципы метода могут так же использоваться для управления нелинейными объектами. Суть метода заключается в искусственном изменения параметров объекта, в тех пределах в которых параметры могут находиться, и последующей идентификации настроек регулятора по этим параметрам. Настройки регулятора заносят в таблицу, и составляют **базу данных**.

В процессе функционирования системы, измеряют параметры, которые были приняты для составления базы данных, и в зависимости от их значений выбирают регулятор.

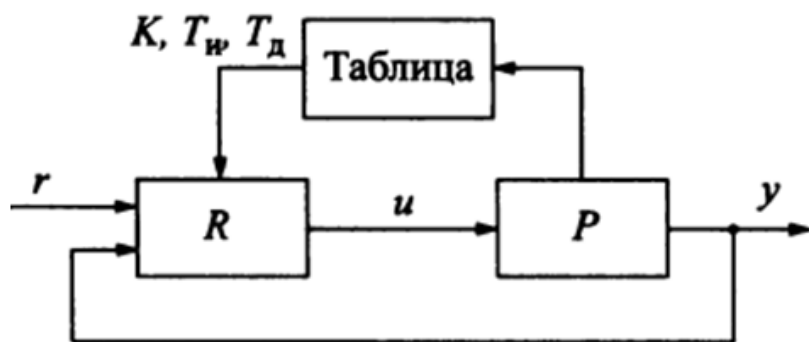


Рисунок 2 - Структурная схема системы с табличным управлением

Плюсы: высокая быстродействия. Минусы: затраты на создания базы банных, для некоторых объектов невозможно спрогнозировать, возможное их состояние, следовательно идентификация будет проведена не для всех возможных случаев.

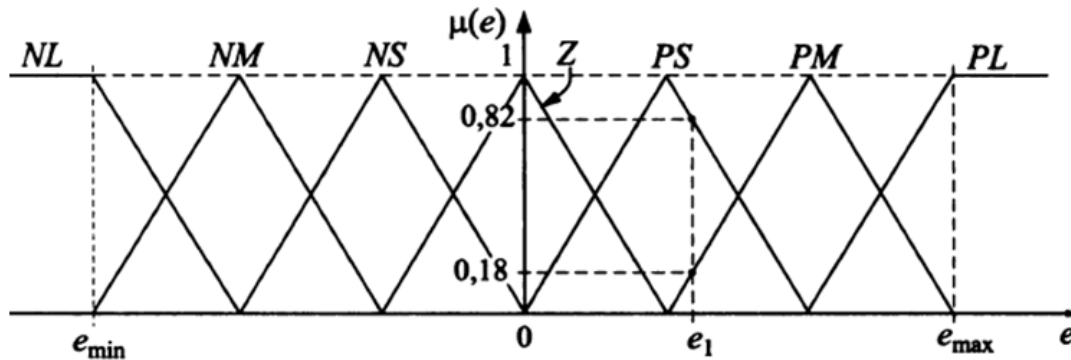
**Нечеткая логика.** Нечеткая логика используется при недостаточном знании объекта управления, но при наличии опыта управления им, в нелинейных системах, когда по условию задачи необходима знать знания оператора.



**Рисунок 3 - Структурная схема в нечеткого регулятора**

Построение осуществляется по следующему принципу: перевод четких переменных в нечеткие проведение фаззификации; второе: формирования правил, на основании высказываний оператора; перевод нечетких переменных в четкие, проведение дефаззификации

Процесс фаззификации состоит, в разбиении сигнала ошибки e на множество NL, NM, NS и т.д. и в пределах каждой из них строится функция принадлежности, имеющие форму(показана треугольная) .



**Рисунок 5 - Перевод переменных из четких в нечеткие. N-отрицательный, Z-нулевой, P-положительный, S-малый, M-малый, L-большой, NL- отрицательный большой, e\_max(min) - ошибка максимальная и минимальная**

Для выполнения функции регулирования, должны быть сформулированы оператором нечеткие правила. Результатом выполнения правил, станет управляющее воздействие на объект.

Операция И (рисунок 6) соответствует пересечению множеств, а результат применения всех правил соответствует операции объедине-

ния множеств. Переход от функции принадлежности нечеткого управления к точному значению управляющего воздействия - операция дефаззификация.

правило 1: если  $e = N$  и  $de/dt = P$ , то  $\tilde{u} = Z$ ;  
 правило 2: если  $e = N$  и  $de/dt = Z$ , то  $\tilde{u} = NM$ ;  
 правило 3: если  $e = N$  и  $de/dt = N$ , то  $\tilde{u} = NL$ ;  
 правило 4: если  $e = Z$  и  $de/dt = P$ , то  $\tilde{u} = PM$ ;  
 правило 5: если  $e = Z$  и  $de/dt = Z$ , то  $\tilde{u} = Z$ ;  
 правило 6: если  $e = Z$  и  $de/dt = N$ , то  $\tilde{u} = NM$ ;  
 правило 7: если  $e = P$  и  $de/dt = P$ , то  $\tilde{u} = PL$ ;  
 правило 8: если  $e = P$  и  $de/dt = Z$ , то  $\tilde{u} = PM$ ;  
 правило 9: если  $e = P$  и  $de/dt = N$ , то  $\tilde{u} = Z$ .

		$de/dt$		
		$P$	$Z$	$N$
$e$	$N$	$Z$	$NM$	$NL$
	$Z$	$PM$	$Z$	$NM$
	$P$	$PL$	$PM$	$Z$

Рисунок 6. - правила, которые формирует оператор объекта

$$\mu_{e \cap de/dt} = \min(\mu_e, \mu_{de/dt}),$$

$$\mu_{e \cup de/dt} = \max(\mu_e, \mu_{de/dt}).$$

$$\mu_{\Pi 1}(\tilde{u}) = \min\{\mu_{u1}(\tilde{u}), \min(\mu_{e1}(e), \mu_{de/dt1}(de/dt))\}$$

$$\mu_{\Pi 2}(\tilde{u}) = \min\{\mu_{u2}(\tilde{u}), \min(\mu_{e2}(e), \mu_{de/dt2}(de/dt))\}$$

$$\mu_{\Pi 9}(\tilde{u}) = \min\{\mu_{u9}(\tilde{u}), \min(\mu_{e9}(e), \mu_{de/dt9}(de/dt))\}$$

$$\mu(\tilde{u}) = \max\{\mu_{\Pi 1}(\tilde{u}), \mu_{\Pi 2}(\tilde{u}), \dots, \mu_{\Pi 9}(\tilde{u})\}.$$

$$u = \frac{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \tilde{u} \mu(\tilde{u}) d\tilde{u}}{\int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \mu(\tilde{u}) d\tilde{u}}.$$

Рисунок 7 - дефаззификация

Заключение: автоматическая настройка и адаптация является самыми актуальными задачами при построении регуляторов. Несмотря на большое количество коммерческих продуктов остается много нерешенных проблем, связанных с качеством настройки, влиянием нелинейностей объекта управления и внешних возмущений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием: Москва 2009г.

УДК 681.5

Магистрант О.К. Демидов

Научн. рук. доц. О.Г. Барашко

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

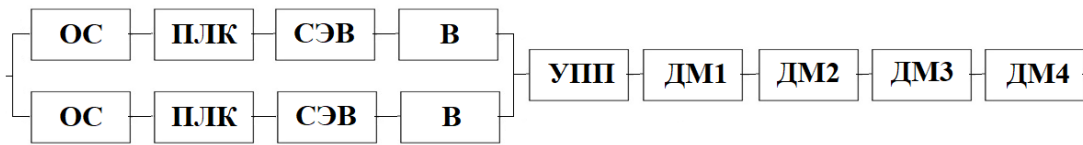
Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) опасных производственных объектов должны реализовываться с учетом обеспечения безопасности и непрерывности ведения технологического процесса. Для применения какого-либо оборудования на опасных производственных объектах необходимо и достаточно разрешение – как для оборудования, входящего в состав системы управления технологическим процессом, так и для применяемого в качестве компонента системы противоаварийной защиты. ГОСТ Р МЭК 61508 "Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью" и ГОСТ Р МЭК 61511 "Безопасность функциональная. Системы безопасности, обеспечиваемые приборами для сектора обрабатывающей отрасли промышленности" расширяют требования к системам безопасности и вводят классификацию уровня безопасности в зависимости от допустимой вероятности отказа.

Невысокая надёжность средств контроля метаносодержания и регулирования внутришахтного воздухораспределения привело к невозможности эффективного управления процессом вентиляции в шахтах.

В связи с этим остро стоит задача определения наиболее надёжной схемы автоматизированной системы управления шахтной вентиляции.

Для этого рассмотрим надёжность автоматизированной системы управления шахтной вентиляции с разным количеством датчиков, установленных в местах, определённых правилами безопасности в шахтах.

Блок-схема автоматизированной системы управления шахтной вентиляции с одним датчиком: 1) контролирующим концентрацию метана в исходящей струе очистной выработки, 2) контролирующим концентрацию метана в исходящей струе шахты, 3) контролирующим местные скопления метана в очистной выработке, 4) контролирующим концентрацию метана в струе, поступающей в очистную выработку (АСУ №1) показана на рисунке 1



**Рисунок 1 - Блок-схема автоматизированной системы управления шахтной вентиляции с одним датчиком (АСУ №1)**

Условные обозначения на схеме: УПП- устройство переключения потока, СЭВ - система электропривода вентилятора, ПЛК- программируемый логический контроллер, ОС – станция оператора,

В - шахтная вентиляторная установка, ДМ1 – датчик метана, контролирующий концентрацию метана в исходящей струе очистной выработки, ДМ2 – датчик, контролирующий концентрацию метана в исходящей струе шахты, ДМ3 - датчик, контролирующий местные скопления метана в очистной выработке, ДМ4 – датчик, контролирующий концентрацию метана в вентиляционной струе, поступающей в очистную выработку.

Операторская станция состоит из процессора, видеокарты, материнской платы, блока питания, монитора, жёсткого диска, оперативной памяти.

Среднее время работы между отказами для компонентов операторской станции:  $MTBF_{ОЦ}=17520$  часов,  $MTBF_{В}=17520$  часов,  $MTBF_{МП}=26280$  часов,  $MTBF_{БП}=26280$  часов,  $MTBF_{М}=17520$  часов,  $MTBF_{ЖД}=17520$  часов,  $MTBF_{ОП}=17520$  часов.

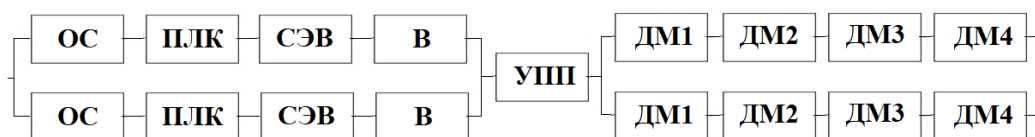
Надёжность ПЛК (Siemens Simatic S7 400H) найдём из формулы из [1]:  $MTBF_{1002} = 818611$  часов.

Для примера возьмём главную вентиляторную установку ВО-30ВК. Для системы электропривода вентилятора среднее время наработки на отказ  $MTBF=1292$  часа. Для вентилятора главной вентиляторной установки время наработки на отказ  $MTBF=1613$  часа. Для устройства переключения потока время наработки на отказ  $MTBF=3021$  часов,  $MTTR=8$  часов [2].

Среднее время наработки на отказ датчика метана (ДМС 03)  $MTBF=10000$  часов [3].

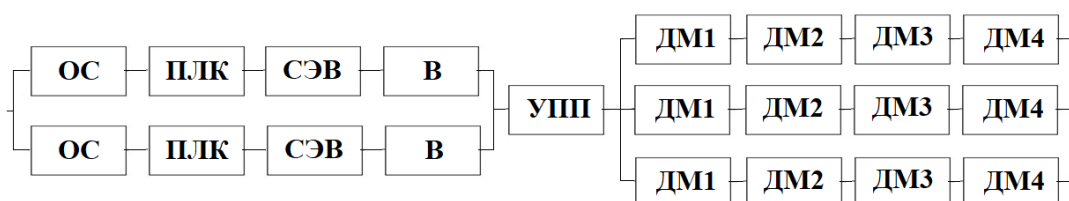
Блок-схема автоматизированной системы управления шахтной вентиляции с двумя датчиками: 1) контролирующими концентрацию метана в исходящей струе очистной выработки; 2) контролирующими концентрацию метана в исходящей струе шахты; 3) контролирующими местные скопления метана в очистной выработке; 4) контролирующими концентрацию метана в струе, поступающей в очистную выработку

(АСУ№2) показана на рисунке 2



**Рисунок 2 – Блок-схема автоматизированной системы управления шахтной вентиляции с двумя датчиками (АСУ№2)**

Блок-схема автоматизированной системы управления шахтной вентиляции с тремя датчиками: 1) контролирующими концентрацию метана в исходящей струе очистной выработки; 2) контролирующими концентрацию метана в исходящей струе; 3) контролирующими местные скопления метана в очистной выработке; 4) контролирующими концентрацию метана в струе, поступающей в очистную выработку (АСУ№3) показана на рисунке 3



**Рисунок 3 - Блок-схема автоматизированной системы управления шахтной вентиляции с тремя датчиками (АСУ№3)**

По формулам из [4], найдём проектную надёжность для автоматизированных систем управления шахтной вентиляции №1,2,3. В таблицу 1 снесены результаты расчёта проектной надёжности автоматизированной системы управления шахтной вентиляции.

**Таблица 1 - Результаты расчёта проектной надёжности автоматизированной системы управления шахтной вентиляции**

Оборудование	Интенсивность отказов (1/час)	МТБФ (час)	Готовность %
АСУ№1	0.0035490246	282	97,497700135
АСУ№2	0.0003515746	2844	99,719495091
АСУ№3	0.0003490161	2865	99,721545422

Уровень безопасности (SIL) – это требуемые свойства системы безопасности с учетом оценки риска определенной инструментальной функции безопасности (SIF).

**Таблица 2 – Интегральный уровень безопасности (SIL)**

Интегральный уровень безопасности SIL	Допустимая вероятность опасного отказа $PFD_{avg}$	Требуемая надёжность (стационарная готовность) $(1 - PFD_{avg}) * 100\%$	Интенсивность опасных отказов (1/час) $PFD_{avg} (\lambda_{avg})$	Факторы снижения риска (годы) $RRF=1/ PFD_{avg}$ ( $RRF=1/ \lambda_{avg}$ )
1	От $10^{-2}$ до $10^{-1}$	90%-99%	От $10^{-6}$ до $10^{-5}$	От 10 до 100 лет
2	От $10^{-3}$ до $10^{-2}$	99%-99.9%	От $10^{-7}$ до $10^{-6}$	От 100 до 1000 лет
3	От $10^{-4}$ до $10^{-3}$	99.9-99.99%	От $10^{-8}$ до $10^{-7}$	От 1000 до 10000 лет
4	Менее $10^{-4}$	Более 99.99%	Менее $10^{-8}$	Более 10000 лет

Из сопоставления результатов расчёта (таблица 1) с опорными значениями таблицы 2 следует, что максимальный уровень интегральной безопасности для АСУ№1 – первый, для АСУ№2 – второй и для АСУ№3 – второй.

В результате расчётов показано, что наиболее надёжной схемой автоматизированной системы управления шахтной вентиляции является схема с тремя датчиками: 1) контролирующими концентрацию метана в исходящей струе очистной выработки; 2) контролирующими концентрацию метана в исходящей струе шахты; 3) контролирующими местные скопления метана в очистной выработке; 4) контролирующими концентрацию метана в струе, поступающей в очистную выработку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Компания Matrix Group [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.siemens-ru.com/doc/S7-400H.pdf> – Дата доступа: 2.04.2018.
2. Зедгенизов, Д. В. Разработка системы автоматического управления главным вентилятором при автоматизации проветривания шахт: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06/ Д. В. Зедгенизов. – М., 2011. – 187 л
3. Компания ООО "ИНГОРТЕХ" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ingortech.ru/novosti/item/282-стационарные-датчики-метана-дмс](http://www.ingortech.ru/novosti/item/282-стационарные-датчики-метана-дмс) – Дата доступа: 2.04.2018.
4. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие. - М.: Инфра-Инженерия,. 2008. -928 с

УДК 681.5

Студ. В.А. Стаблецкий, Д.И. Чакур  
Науч. рук. доц. Д.А. Гринюк

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Множество реальных объектов управления в различных ситуациях проявляют различные свойства и не всегда описываются целиком. Использование классической теории автоматического управления возможно лишь при найденной аналитической модели объекта и регулятора, но определить адекватную аналитическую модель объекта сложно и не всегда возможно, поэтому решение задачи управления объектом проводится при недостатке информации – неопределённости.

Для решения задач управления объектами в условиях неопределённости применяют интеллектуализированные гибридные системы, главной особенностью которых является одновременное использование методов из классической теории управления и методов искусственного интеллекта.

В качестве гибридной системы понимают математическую модель, которая предназначена для описания реальных объектов, меняющих своё непрерывное поведение (заданное в форме классической динамической системы) при наступлении некоторых определённых событий. Гибридными системами также могут называть событийно-управляемыми динамическими системами или непрерывно-дискретными системами, причём, непрерывная динамика системы задаётся дифференциальными уравнениями, а дискретная динамика характеризуется применением передаточной функции с конечным количеством состояний. Непрерывный и дискретный процессы взаимодействуют в моменты, когда текущее состояние системы достигает некоторых заданных множеств в непрерывном пространстве состояний.

Впервые модель гибридной системы была определена в виде набора:

$$H_w = \langle M, \omega, f, d, J, \Omega \rangle, \quad (1)$$

где  $M, \Omega$  – конечные множества (дискретные пространства) состояний и выходов;  $f: M \times R^n$  – непрерывная функция перехода от двух аргументов;  $R$  – множество действительных чисел;  $R^n$  – пространство непрерывных состояний размерности  $n$ ;  $d: M \times J \rightarrow M$  – дискретная функция перехода, вычисляющая очередное значение дискретной компоненты состояния, когда значение непрерывной компоненты состояния достигло одного из переходных множеств  $\omega$ ;  $M \rightarrow \Omega$  – функция выхода и  $J \in P(R^n, n)$  – множество переходных множеств. Гибридное состояние



определяется в виде вектора  $(m, x) \in MR^n$ . Достоинство модели (1) состоит в возможности представления гибридного состояния для имитации неоднородности в поведении системы.

Рассмотрим метод описания систем управления, основанный на представлении цифровой системы автоматического управления (ЦСАУ) в виде гибридного автомата, который позволяет учесть поведение гибридной системы в непрерывном времени и, используя минимум изобразительных средств, смоделировать реальные процессы, происходящие как в непрерывной, так и в дискретной части ЦСАУ.

Представление в виде гибридного автомата ЦСАУ с промышленным регулятором, реализующим один из типовых и распространенных законов регулирования (П, ПИ, ПИД). В этом случае действие перехода заключаются в вычислении управления по формул [2]:

$$u(K) = a_p e(K) \tag{1}$$

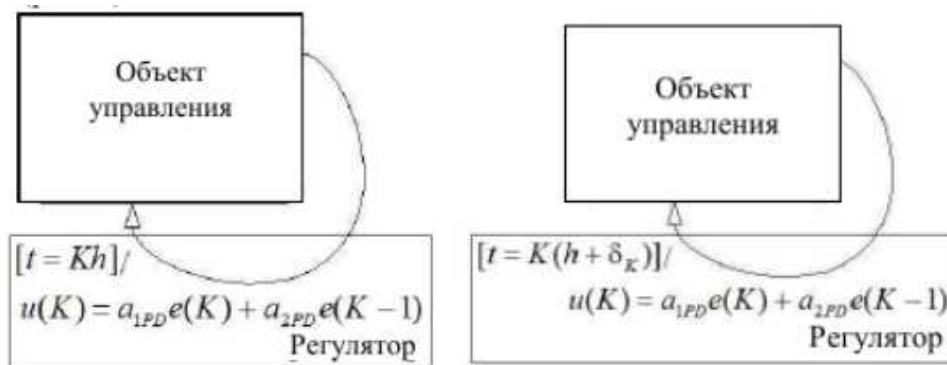
$$u(K) = a_{1PD} e(K) + a_{2PD} e(K - 1) \tag{2}$$

$$u(K) = u(K - 1) + a_{1PI} e(K) + a_{2PI} e(K - 1) \tag{3}$$

$$u(K) = u(K - 1) + a_{1PID} e(K) + a_{2PID} e(K - 1) + a_{3PID} e(K - 2) \tag{4}$$

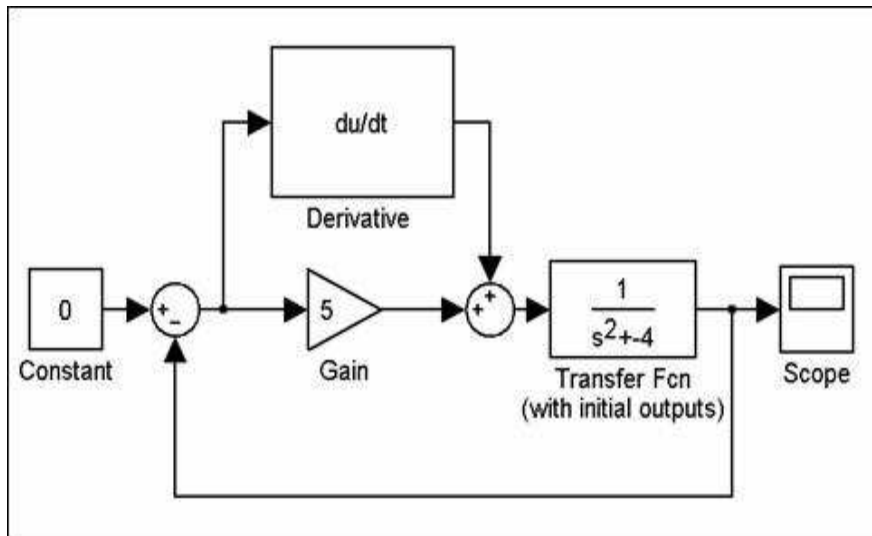
для П, ПД, ПИ и ПИД-закона соответственно. В выражениях (1) – (4)  $u(i)$  и  $e(i)$  соответственно – управление и ошибка в  $i$ -й момент времени,  $a_p$ ,  $a_{1PD}$ ,  $a_{2PD}$ ,  $a_{1PI}$ ,  $a_{2PI}$ ,  $a_{1PID}$ ,  $a_{2PID}$  и  $a_{3PID}$  – параметры.

При стабильном шаге квантования условием перехода будет выражение  $[t = Kh]$ , где  $t$  – текущее время,  $h$  – шаг квантования по времени,  $Kh$  – момент выдачи  $K$ -го управляющего сигнала (рис. 1). Если шаг квантования подвержен случайным колебаниям, условие перехода приобретет следующий вид:  $[t = K(h + \delta_k)]$ , где  $\delta_k$  – случайная вариация  $K$ -го шага квантования (рис. 2).



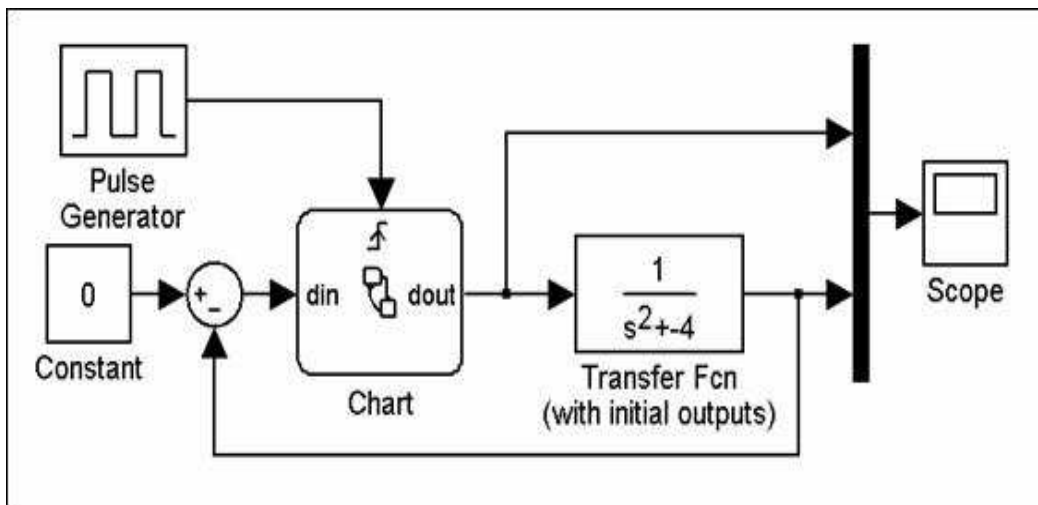
**Рисунок 1 – ПД-регулятор со стабильным и нестабильным шагами квантования**

Модель непрерывной системы приведена на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Модель непрерывной системы стабилизации маятника**

Рассмотрим цифровую систему, которую будет представлять регулятор из Simulink-stateflow, данная модель представлена на рисунке 4. Stateflow – модель цифрового регулятора представлена на рисунке 5.



**Рисунок 4 – Модель цифровой системы**

Данная модель реализует переменную временную задержку в канале управления, которая изменяется случайным образом в соответствии с нормальным законом с параметрами 0,2 и 0,08 с. Переход из одного состояния в другое сопровождается вычислением значения нового сигнала управления, который действует на объект весь последующий такт времени.

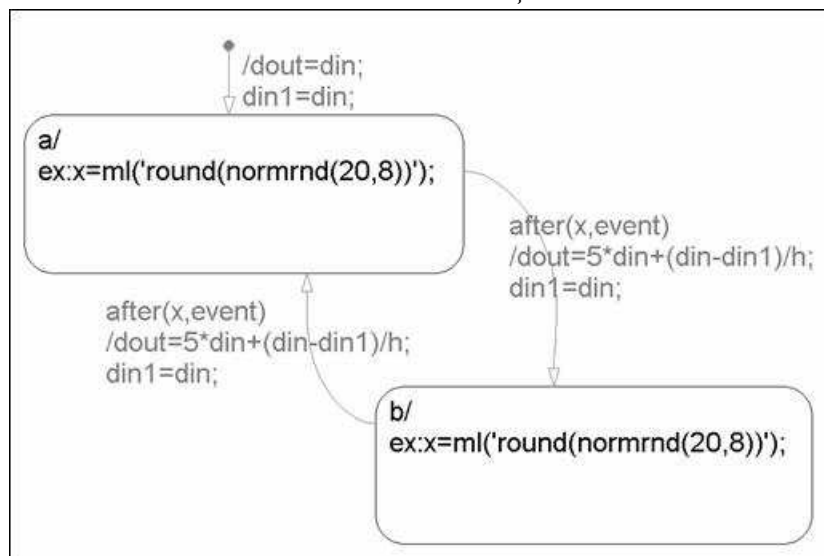


Рисунок 5 – Stateflow – модель цифрового регулятора

Качество работы системы может оцениваться по косвенному показателю – критерию интегральной квадратичной ошибки:

$$J = \int_0^t \varepsilon^2(t) \cdot dt$$

где  $\varepsilon$  - ошибка системы,  $t$  - время окончания процесса регулирования.

**Заключение:** анализ временных диаграмм работы регулятора позволил установить, чем худшие варианты отличаются от лучших. В первом случае сигнал задания приходит сразу после очередного момента срабатывания регулятора, т.е. сигнал ошибки держится на максимальном уровне в течение одного такта работы регулятора и обработка ошибки начинается только при наступлении следующего момента работы регулятора. Во втором случае сигнал задания приходит перед очередным моментом срабатывания регулятора, а именно сигнал ошибки начинает обрабатываться мгновенно. Синхронизация работы регулятора с моментами значительного изменения сигнала задания позволит избежать появления худших вариантов развития событий. Так же исследование показало, что непрерывная система обладает наилучшим качеством, интегральный квадратичный критерий  $J = 0,0099$ . Для цифровой системы, а шаг квантования был постоянен  $h = 0,2$  с.. В случае с переменным шагом квантования среднее значение интегрального квадратичного критерия равнялось  $J = 0,010$ . Однако было замечено, что в некоторых редких случаях интегральный квадратичный критерий был меньше, чем у непрерывной системы.

УДК 681.5

Студ. А.В. Косолапов, С.Н. Клындюк

Науч. рук. доц. И.Ф. Кузьмицкий

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором достаточно просты по конструкции, надежны в эксплуатации. Для осуществления возможности регулирования момента и скорости в современных электроприводах используются методы частотного управления, а именно: векторное и скалярное.

Наибольшую популярность получили асинхронные электроприводы с векторным управлением. В первых электроприводах с векторным управлением использовались двигатели, с датчиками потока, что значительно ограничивало область применения подобных приводов.

**Преимущества векторного управления:** высокая точность регулирования скорости; плавные старт и вращение двигателя во всем диапазоне частот; быстрая реакция на изменение нагрузки: при изменении нагрузки практически не происходит изменения скорости; увеличенный диапазон управления и точность регулирования; снижаются потери на нагрев и намагничивание, повышается КПД электродвигателя. К **недостаткам векторного управления** можно отнести: необходимость задания параметров электродвигателя; большие колебания скорости при постоянной нагрузке; вычислительная сложность. Общая блок-диаграмма высокопроизводительной системы управления скоростью бесщеточного двигателя переменного тока (Рисунок 1).

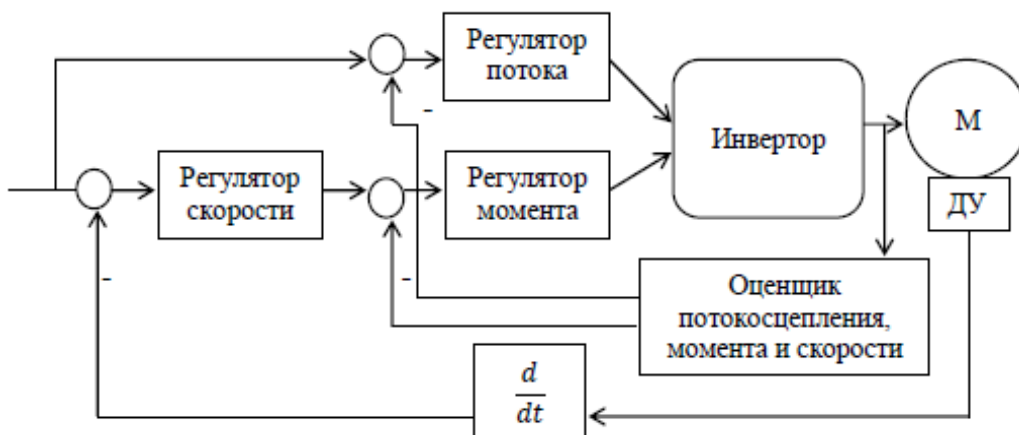


Рисунок 1 - Общая функциональная схема векторного управления

Основой схемы являются контуры контроля магнитного потока сцепления и момента вместе с блоком оценки, который может быть реализован различными способами. Скорость двигателя может быть измерена датчиком (скорости / положения) или получена посредством оценщика, позволяющего реализовать управление без датчиков.

Опуская вычисления получим выражение для составляющих тока статора, потокосцепления ротора и формула, связывающая частоту роторной ЭДС составляющей тока  $i_{1\beta}$ :

$$i_{1\alpha} = \frac{1}{R_1} \frac{1}{\sigma T_1 p} (u_{1\alpha} - R_1 i_{1\alpha} + \omega_{0\text{эл}} \sigma T_1 R_1 i_{1\beta} - k_2 p \psi_2) \quad (1)$$

$$i_{1\beta} = \frac{1}{R_1} \frac{1}{\sigma T_1 p} (u_{1\beta} - R_1 i_{1\beta} + \omega_{0\text{эл}} \sigma T_1 R_1 i_{1\alpha} - k_2 \omega_{0\text{эл}} \psi_2); \quad (2)$$

$$\psi_2 = \frac{1}{T_2 p} (L_m i_{1\alpha} - \psi_2); \quad \omega_p = \frac{k_2 R_2 i_{1\beta}}{\psi_2}; \quad (3)$$

$$M_d = \frac{3}{2} p_n k_2 \psi_2 i_{1\beta}; \quad p\omega = \frac{1}{J} (M_d - M_c); \quad (4)$$

где  $L$ ,  $L_2$ ,  $L_m$ - индуктивности обмоток статора, ротора и главная индуктивность;  $J$  - момент инерции привода;  $M_d$ - электромагнитный момент привода;  $M_c$ - момент нагрузки, включающий в себя момент нагрузки на валу и момент потерь вращения двигателя;  $\tilde{I}_2 = i_{2a} - j i_{2\beta}$ ;  $\omega$  - угловая скорость двигателя;  $\omega_p$  и  $\omega_{0\text{эл}}$  - угловая скорость роторной ЭДС и напряжения питания статора;  $p_n$ - число пар полюсов обмотки статора;  $k_1$  и  $k_2$ - безразмерные коэффициенты,  $k_1 = L_m/L_1$ ,  $k_2 = L_m/L_2$   $\sigma$  - коэффициент рассеяния машины,  $\sigma = 1 - L_m^2/(L_1 L_2) = 1 - k_1 k_2$

В уравнениях (1) – (4) присутствует влияние перекрестных связей по проекциям вектора тока статора  $i_{1\alpha}$  и  $i_{1\beta}$  (рисунок 2). Если свести к минимуму влияние этих перекрестных связей, то, задавая значение  $u_{1\alpha}$  можно независимо устанавливать потокосцепление ротора  $\psi_2$ . При данном значении  $\psi_2$  сигнал задания составляющей напряжения  $u_{1\beta}$  будет задавать значение электромагнитного момента и скорости двигателя (рисунок 3).

Таким образом, задачи управления потокосцеплением ротора и электромагнитным моментом двигателя будут разделены подобно тому, как это имеет место в двигателе постоянного тока независимого возбуждения (рисунок 4). Видно, что составляющая тока статора  $i_{1\alpha}$  асинхронного двигателя, играет ту же роль, что ток возбуждения, постоянная времени ротора  $T_2$  эквивалентна постоянной времени возбуждения, а коэффициент  $3/2 p_n k_2$  соответствует машинной постоянной двигателя постоянного тока.

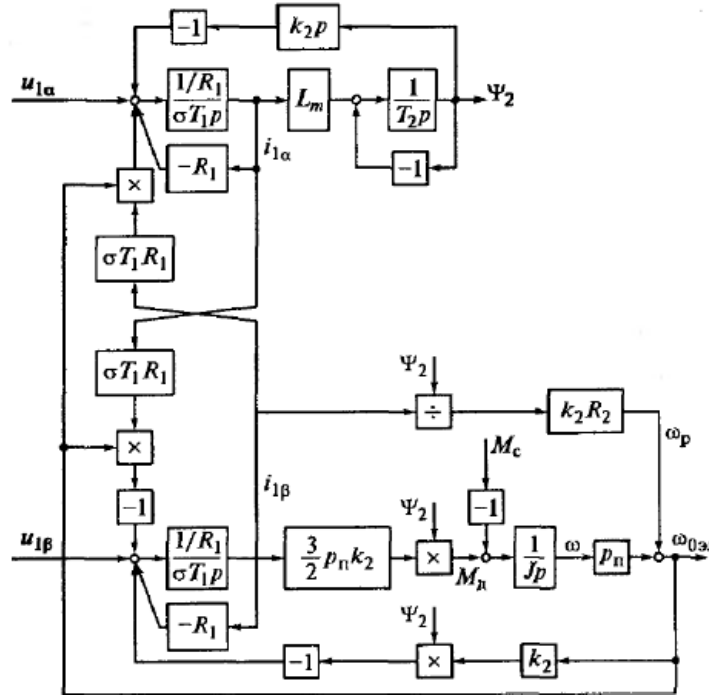


Рисунок 2 – Структурная схема асинхронного электродвигателя

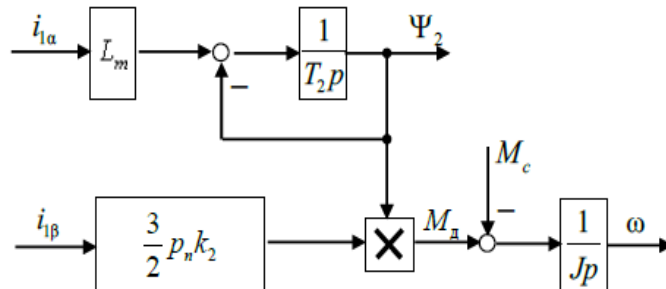


Рисунок 3 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с исключенным взаимовлиянием проекций тока статора

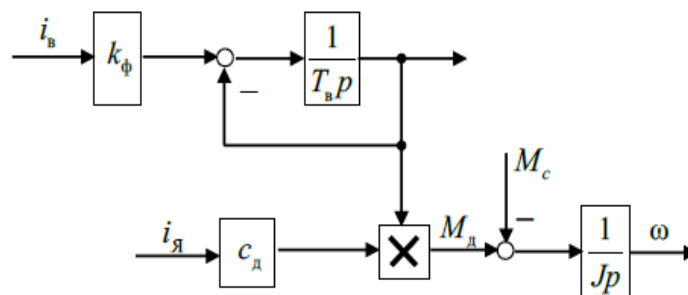


Рисунок 4 – Структурная схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Наиболее эффективным способом исключения влияния перекрестных связей является непосредственное управление током статора. При этом видно, что установившееся значение потокосцепления ротора однозначно определяется составляющей тока статора по прямой оси  $i_{1\alpha}$ . В переходном режиме замедление потокосцепления по отношению к току  $i_{1\alpha}$  характеризуется постоянной времени ротора  $T_2$ . Электромагнитный момент двигателя при постоянном потокосцеплении ротора определяется только значением составляющей тока статора по оси  $i_{1\beta}$  и следует за ее изменениями, другими словами момент изменяется так быстро, как быстро изменяется составляющая тока статора по оси  $i_{1\beta}$ . Это способствует обеспечению высокого быстродействия электропривода с асинхронным двигателем. Система управления электроприводом выполняется во вращающейся системе координат и построена по принципам подчиненного регулирования.

Внешним по отношению к контуру тока по оси  $a$ , является контур регулирования потокосцепления ротора с регулятором потока. Выходной сигнал регулятора потока представляет собой сигнал задания составляющей тока статора по вещественной оси  $i_{1\alpha}$ . На входе регулятора сравниваются сигналы задания и истинного значения потокосцепления ротора, определенное в наблюдателе. Внешним по отношению к контуру регулирования тока  $i_{1\beta}$ , является контур регулирования момента со своим регулятором. На его входе сравниваются выходной сигнал регулятора скорости, который задает значение электромагнитного момента, и сигнал обратной связи по моменту, вычисленной в наблюдателе. Контур регулирования скорости с регулятором замкнут по сигналу  $\omega$  на входе датчика скорости.

**Вывод:** по данным выражениям для составляющих тока статора, потокосцепления ротора и формула, связывающая частоту роторной ЭДС с составляющей тока  $i_{1\beta}$  составляется структурная схема САУ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов, - 2-е изд. – М., 2004. -575с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием, 2-е изд.,испр. - М.: Издательский центр «Академия»,2007. -272с.
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. - СПб.: Питер, 2008. -298с.
4. Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, -94с.

УДК 681.5

Студ. Н.Н. Бирюкова, А.Н. Цеван  
Научн. рук. доц. Д.А. Гринюк, асс. Н.М. Олиферович  
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ВОДОПОДГОТОВКИ**

Процессы водоочистки и водоподготовки широко распространены в промышленности и народном хозяйстве. Расширение производства повышает интенсивность использования органических водных ресурсов, которые не всегда расходуются эффективно даже с применением новейших реагентов. Внедрение достижений химии в области реагентов требует определение четких критериев эффективности их использования. Развитие способов анализа, методов получения информации о протекании технологических процессов и датчиков на их основе обеспечивает возможность создания новых систем управления на базе эффективных критериев, учитывающих специфику процессов.

Построение высокоэффективных автоматических систем управления процессами водоподготовки и водоочистки невозможно её применения современных достижений в области теории управления, математического описания протекающих взаимодействий и новейших разработок в сфере измерения технологических параметров. Использование для очистки комплексных реагентов требует более полной оценки их влияния на состояние систем и протекания процессов в них, что делает необходимым совершенствование методов измерения. Наряду с измерением состояния системы необходимо развивать область знаний, описывающих поведение таких систем с учетом особенностей используемых материалов и реагентов

В данное время вода широко используется в разных областях промышленности в качестве теплоносителя, чему способствует широкое распространение воды в природе и ее особые термодинамические свойства, связанные со строением молекул.

Современное оборудование, в большинстве случаев, эксплуатируется при высоких тепловых нагрузках, которые требуют жесткого ограничения толщины отложений на поверхностях нагрева в связи с условиями температурного режима их металла на протяжении работы. Такие отложения образуются из примесей, которые поступают аппараты, в том числе и с добавочной водой, поэтому обеспечение высокого качества водных теплоносителей является важнейшей задачей. Использование водного теплоносителя высокого качества упрощает также решение задач получения чистого пара, минимизации скоростей корро-



зии конструктивных материалов оборудования.

Водоподготовка включает следующие основные способы обработки:

механическая очистка от нерастворённых загрязнений (сора, песка, ржавчины, окалины, крупно- и мелкодисперсных взвесей);

осветление (удаление из воды коагуляцией, отстаиванием и фильтрованием коллоидальных и суспензированных загрязнений);

умягчение (устранение жёсткости воды осаждением солей кальция и магния, известью и содой или удаление их из воды катионированием);

обессоливание и обескремнивание (ионный обмен или дистилляцией в испарителях);

удаление растворённых газов (термическим или химическим способом) и оксидов железа, марганца и меди (фильтрованием).

биологическая очистка воды от бактерий, вирусов и других микроорганизмов. В настоящее время в основном используется хлор, озон и УФ-стерилизация. Проводятся опыты с ультразвуком.

улучшение органолептических свойств воды (удаление из воды веществ, придающих воде запах (сероводород, хлор), и ряда органических веществ)

Рассмотрим одну из стации водоподготовки, а именно процесс осветления воды.

Цель процесса - получение осветленной (очищенной) воды с концентрацией щелочных остатков  $Q_{\text{рНов}} = 9-11$  ед. рН.

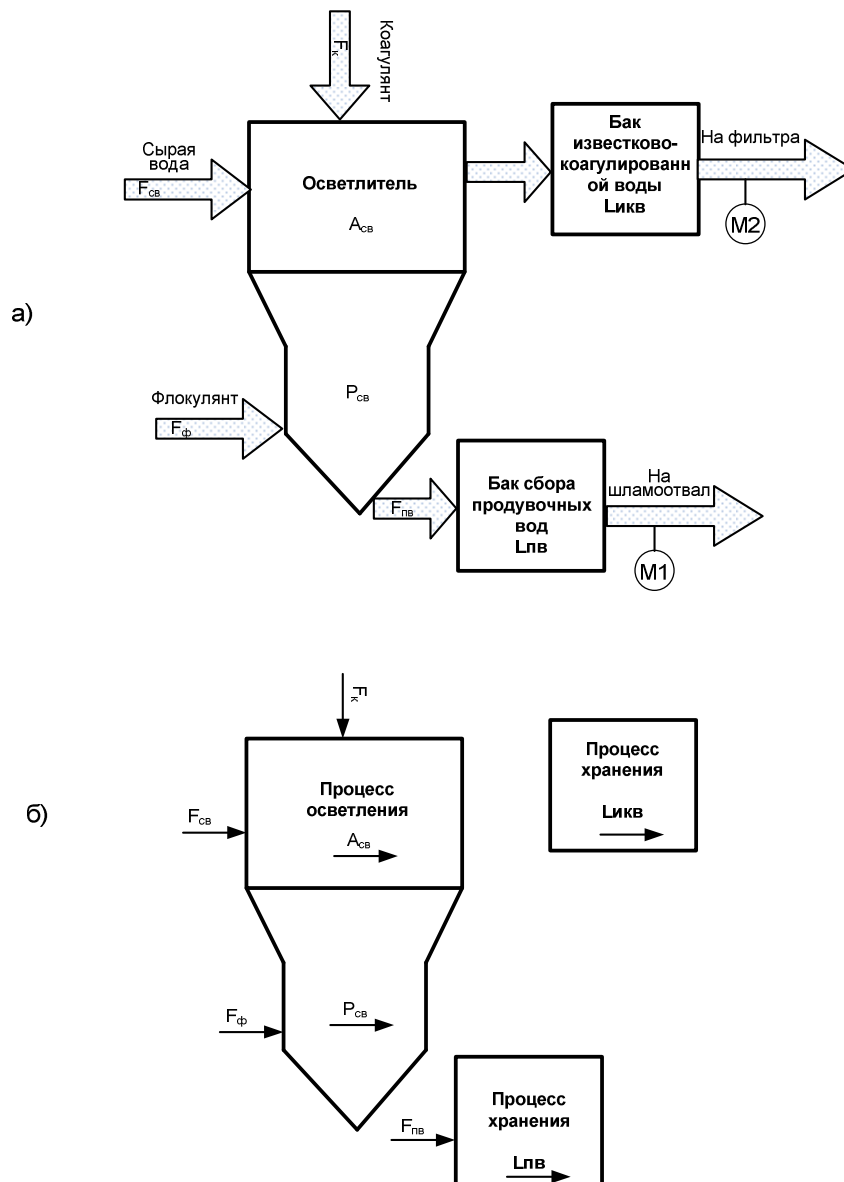
Участок осветления воды состоит из следующих аппаратов: емкость речной воды (процесс хранения), осветлитель (процесс осветления, коагуляции и известкования), емкость коагулянта (процесс хранения), бак сбора продувочных вод осветлителя (процесс хранения).

Подогретая речная вода 2 ( $P_{\text{прв}} = 120-150$  кПа,  $T_{\text{прв}} = 35-40^\circ\text{C}$ ,  $F_{\text{прв}} = 350-400$  м<sup>3</sup>/ч) поступает в верхнюю часть осветлителя. Из верхней части осветлителя по тангенциально направленной трубе подогретая речная вода 2 поступает в его нижнюю часть, где смешивается со встречно направленной суспензией ( $P_c = 200 - 250$  кПа). Суспензия в свою очередь готовится в смесителе путем смешения известкового молока ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), поступающего из заводской сети, и коагулянта ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), подаваемого насосом (двигатель МЗ) из емкости коагулянта ( $L_c = 30-90\%$ ).

В нижней части осветлителя при встрече потоков нагретой речной воды и суспензии происходит частичное умягчение и снижение сухого остатка обрабатываемой воды, а также удаление части

взвешенных веществ, соединений кремния и железа, которые в виде шлама выводятся из осветлителя. При этом освобождённая от них осветленная вода перемещается в верхнюю часть осветлителя за счет восходящего потока промывной воды, расход которой поддерживается постоянным ( $F_{пв} = 150-200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

Степень осветления (очистки) воды оценивается концентрацией щелочных остатков в осветленной воде  $Q_{рНов} = 9-11 \text{ ед. рН}$ , которую поддерживают изменением расхода суспензии  $F_{с}^*$ .



**Рисунок 1 – Схема анализа процесса осветления воды. а – схема материальных потоков и их информационных переменных; б – структурная схема САУ**

Технологический процесс по химической очистке воды по условиям автоматизации можно разделить на операции, требующие непрерывного управления и осуществляется периодически (один или несколько раз в сутки).

Автоматическое регулирование непрерывных процессов. К непрерывным процессам химической очистки воды относят регулирование подогрева исходной воды, производительности водоподготовительной установки, дозировки реагентов и уровня шлама в осветлителях.

Регулирование температуры исходной воды. Поддержание заданного значения температуры исходной воды необходимо по условиям нормального протекания химической реакции в осветлителях и химических фильтрах. Подогрев воды осуществляют в поверхностном пароводяном теплообменнике, который по своим динамическим свойствам представляет типичный тепловой объект.

При наличии резких колебаний расхода воды в целях улучшения качества процессов регулирования температуры предусматривают дополнительное воздействие на регулятор температуры. Дополнительный сигнал, пропорционален скорости изменения расхода воды, реализуют с помощью дифференциатора.

Регулирование производительности. Систему в целом предусматривают двухконтурной. Входным сигналом регулятора производительности, воздействующего на расход исходной воды, служит уровень воды в накопительном баке. Сигналом отрицательной обратной связи – перепад на сужающем устройстве, установленном на линии исходной воды. Регулятор в этом случае будет работать с остаточным отклонением по уровню в баке, что вполне допустимо для неответственного объекта. Измерительный блок регулятора производительности должен обладать зоной нечувствительности по уровню (до 20...30%) всего диапазона изменений уровня). Это необходимо для того, чтобы регулятор не реагировал на частые колебания уровня в пределах  $\pm 10...15\%$  установленного значения.

**Заключение:** Рассмотренная стадия процесса водоподготовки является экономически эффективной, эффект от внедрения которой выражается в следующем:

упрощение технического обслуживания *системы автоматизации*;

повышение ее надежности;

оперативное выявление причин аварий и сокращение времени простоя оборудования, занятого в производстве.

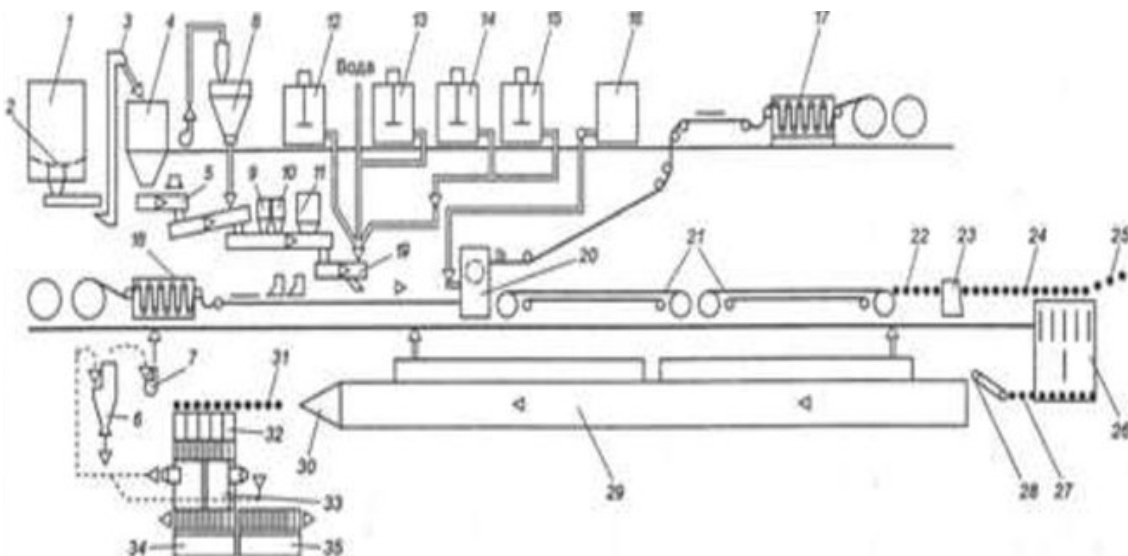
УДК 681.5

Студ. В.Н. Бирюкова, Р. И.Ахралович  
 Научн. рук. доц. Д.А. Гринюк, доц. В.В. Сарока  
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ  
 СУХИХ КОМПОНЕНТОВ ПЕНОГИПСОМЕШАЛКИ ПРИ  
 ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПСОКАРТОНА НА ОАО «БЕЛГИПС»**

Технология производства листов гипсокартона не такая уж сложная, однако это требует наличия специального оборудования.

Цель управления: соблюдение пропорции и дозирования сухих компонентов. Для этой цели задействовано ряд аппаратов (рисунок 1): 1 - силос гипсового вяжущего; 2 - донный разгрузач; 3 - элеватор; 4 - промежуточный бункер; 5 - весовой дозатор; 6,7 - системы пылесосаждения; 8 - бункер; 9 - дозатор; 10 - дозатор крахмала; 11 - стеклорубочная машина; 12 - пеногенератор; 13 - емкость для растворов добавок (ЛСТ); 14 гидроразбиватель макулатуры; 15 - емкость для гидрофобизирующей жидкости; 16 - емкость для клея; 17, 18 - разматыватели картона; 19 гипсобетонмешалка; 20 - формовочный стол; 21 - конвейер схватывания; 22 - рольганг; 23- ножницы; 24 - ускоряющий рольганг; 25 - конвейер сброса влажных отходов; 26 поперечный стол; 27 - ленточный -транспортер; 28 - загрузочный стол; 29 - сушило; 30 - вытяжное устройство; 31 - ускоряющий конвейер; 32 - поперечный стол; 33 - станок для торцовки; 34 - штабелировщик; 35 - пост упаковки



**Рисунок 1 – Технологическая схема**

Первым делом производятся большие плоские непрерывные полосы. В современном производстве для этого используются техноло-

гичные конвейеры, которые также задают специальное сечение требуемой формы. В конвейере предусмотрен специальный формователь листов, на которые попадают листы картона, как нижний, так и верхний. На заранее подготовленный слой гипсовой смеси из машины для подачи картона укладываются картонные листы, которые по краям также автоматически смазываются слоем клея. На нижнем слое края завальцовываются, таким образом получается полотно гипсокартона. Формователь задает периметр полотна. Для того чтобы в будущем листы можно было удобно разрезать, по мере движения гипсового слоя по ленте конвейера он высыхает, приобретая идеальную для данного процесса плотность. Далее следует процесс разрезания листов при помощи рольгангового конвейера. Поскольку перед этим листы картона должны были высохнуть, лента двигалась медленно, но на данном этапе ее движение ускоряется. Устройство разрезает гипсокартоновые листы, которые далее замедляют свой ход, попав на следующий этап – процесс раздачи. Здесь задействуются уже консольные конвейеры, которые распределяют готовые листы по сушилкам. Обычно, для одного полотна, времени нужно около часа, поэтому здесь лента движется очень медленно. После сушки они попадают на следующий рольганговый конвейер, где происходит последующая обрезка листов. Далее процесс уже идет вручную – штабелирование и упаковку на данном этапе производства выполняют рабочие. Итак, в процессе производства гипсокартона задействовано множество конвейеров.

Система автоматизации дозирования сухих компонентов пеногипсомешалки охватывает следующие стадии перемещения и смешивания гипсового вяжущего и сухих компонентов: подача гипсового вяжущего из цеха гипса в цех гипсокартонных листов, очистка и удаление металлических включений из гипсового вяжущего, прием гипсового вяжущего, подача дигидрата сульфата кальция, очистка и удаление металлических включений из дигидрата, дозировка гипсового вяжущего, смешивания гипсового вяжущего и дигидрата, очистка вибрационным грохотом, транспортирование гипсового вяжущего и дигидрата сульфата кальция, прием и дозирование смеси гипсового вяжущего и дигидрата, приготовление рабочего раствора, резка стеклоровинга, перемешивание.

Рассмотрим более детально описанные выше стадии.

1) Гипсовое вяжущее, приготовленное в отделении варки гипсового вяжущего, системой шнеков подается в силоса (бочка для хранения). Подача гипсового вяжущего из цеха гипса в цех гипсокартонных листов (ГКЛ) осуществляется ленточным конвейером с равномерной подачей периодически по мере выхода из котла. Производительность

конвейера составляет около 25-30 т/ч. Габариты ленты: длина – 110м, ширина -0,5м. Конвейер приводит в действие электродвигатель.

2) Очистка и удаление металлических включений из гипсового вяжущего осуществляется электромагнитным сепаратором.

3) Прием гипсового вяжущего в бункер из силоса осуществляется конвейером винтовым (разравниватель). При этом осуществляется контроль равномерности приема и заполнения бункера.

4) Подача дигидрата сульфата кальция осуществляется винтовым и ленточным конвейерами из биг-бегов.

5) Очистка и удаление металлических включений из дигидрата как и ранее осуществляется электромагнитным сепаратором.

6) Дозировка гипсового вяжущего осуществляется транспортировкой его скребковым питателем.

7) Смешивания гипсового вяжущего и дигидрата осуществляется винтовым конвейером в процентном соотношении: гипсовое вяжущее 97-100%, сырец-0,3%.

8) После загрузки через вибросито очищенный от посторонних включений гипсовое вяжущее транспортными шнеками подается в расходный бункер. Чтобы вяжущее не слеживалось, в бункер вмонтированы пневматические клапаны для рыхления его сжатым воздухом.

9) Транспортирование гипсового вяжущего и дигидрата сульфата кальция осуществляется конвейером винтовым общего назначения.

10) Прием и дозирование смеси осуществляется из бункера дозатора двухвинтовым дозатором, где осуществляется постоянная дозировка, а прием – периодически. Элеватором подается гипсовое вяжущее в бункер для последующей подачи его на экстрактор (дозатор)

11) Из бункера гипсовое вяжущее подается на экстрактор. Дозатор - управляемый электронным контроллером ленточный конвейер с регулируемым асинхронным приводом, снабженный тензометрической весоизмерительной системой и датчиком скорости движения ленты. После подачи на смесительный шнек гипсового вяжущего, поочередно дозаторами добавляют крахмал кукурузный модифицированный технический, декстроза, сыромол и борная кислота в соответствии с соотношением подачи гипсового вяжущего.

12) Резка стеклоровинка осуществляется станком для резки ровинга из стекловолокна (жгуторезка). После конечный компонент попадает в агроэкстрактор, смешивается и подается в смеситель пеногипсомешалки.

Работа дозирочного отделения должна проходить в следующей последовательности:

1- Открываются затворы емкостей бункера гипсового связующе-

го, а так же затворы дигидрата сульфата кальция и компоненты начинают поступать в дозаторы. Сигнализатор уровня контролирует в это время уровень гипсового связующего и дигидрата сульфата кальция в бункерах. 2 - Отвешивание дойдет до заданного значения веса, срабатывают соответствующие реле датчика веса на конвейере и затворы емкостей закрываются. При отсутствии на конвейере гипсового вяжущего затворы будут открыты; 3 - Включается привод роторного питателя экстрактора и привод ленты весового дозатора. 4 открываются затворы сухих компонентов (крахмал, декстроза, сыромол, борная кислота) и начинается их отвешивание. Включается привод роторного питателя и привод ворошителя сухих компонентов. Контролируется при этом также уровень в бункерах компонентов. При превышении верхнего предела температуры включаются вентиляторы принудительного охлаждения привода роторного питателя; -5- После окончания отвешивания компоненты выгружаются в пеногипсомешалку.

Проектируемая система управления процессом дозирования сухих компонентов должна управлять технологическим объектом в целом и снабжать взаимосвязанные с ней системы достоверной технологической и технико-экономической информацией о работе объекта управления. Внедрение системы должно приводить к полезным технико-экономическим, социальным или другим результатам. Она должна обеспечивать совместимость между ее частями. Проектируемая система управления предусматривает возможность контроля метрологических характеристик измерительных каналов, а также меры защиты от неправильных действий персонала, приводящих к аварийному состоянию объекта или системы управления, от случайных изменений и разрушения информации и программ, а также от несанкционированного вмешательства.

Данная система управления в необходимых объемах должна автоматизировано выполнять: сбор, обработку и анализ информации (сигналов, сообщений, документов и т. п.) о состоянии объекта управления; выработку управляющих воздействий (программ, планов и т. п.); передачу управляющих воздействий (сигналов, указаний, документов) на исполнение и ее контроль; реализацию и контроль выполнения управляющих воздействий; обмен информацией (документами, сообщениями и т. п.) с взаимосвязанными автоматизированными системами.

**Заключение.** Мы рассмотрели процесс дозирования сухих компонентов в мешалке при получении гипсокартона и из всего следует, что данная, корректно настроенная система управления и правильно выбранные ее компоненты, дают требуемый контроль качества.

УДК 681.5

Студ. Д.Ю. Павлюкевич, А. А. Гармаза

Науч. рук. доц. Д.С. Карпович

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

При исследовании динамических систем довольно часто пренебрегают их геометрическими размерами, считая, что речь идет о некоторых материальных точках, обладающих определенными физическими свойствами. В то же время существует широкий класс объектов с распределенными параметрами, таких как торговые залы, складские и производственные помещения, изучение которых должно осуществляться с учетом их пространственной протяженности. Так как этот параметр довольно часто не учитывается, зачастую это приводит к неверным результатам моделирования, и в дальнейшем к неправильному синтезу системы управления таким объектом.

В качестве примера такого теплового объекта рассмотрим помещение, в котором температуру измеряют 9 датчиков. Геометрические размеры модели составляют 5x2 м. При рассмотрении данного объема как температурного объекта будем считать данную модель плоской, вертикальная координата  $z$  в которой не будет учитываться. Уравнения теплопроводности, для этой модели примет следующий вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha_1 \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

Значение входной величины, обеспечивающей подвод тепла к объекту управления представлено приточной вентиляцией.

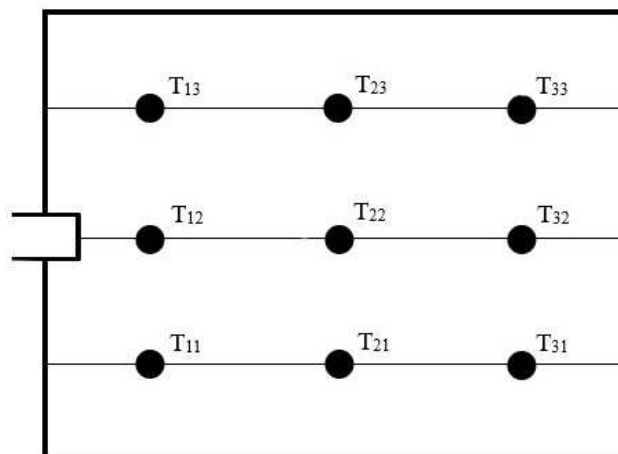


Рисунок 1 – Структурная схема распределённого теплового объекта



Расположение точек измерения температуры в модели следующее: точки  $T_{11}$ ,  $T_{12}$ ,  $T_{13}$  располагаются на расстоянии 0,5м. от края стенки; точки  $T_{21}$ ,  $T_{22}$ ,  $T_{23}$  располагаются на расстоянии 2,5 м. от стенок модели; точки  $T_{31}$ ,  $T_{32}$ ,  $T_{33}$  расположены на расстоянии 0,5м. от близлежащей стенки. Поперечное расстояние между точками составляет 0,5м.

В ходе проведения активного эксперимента были получены графики изменения температуры в 9 рассмотренных точек.

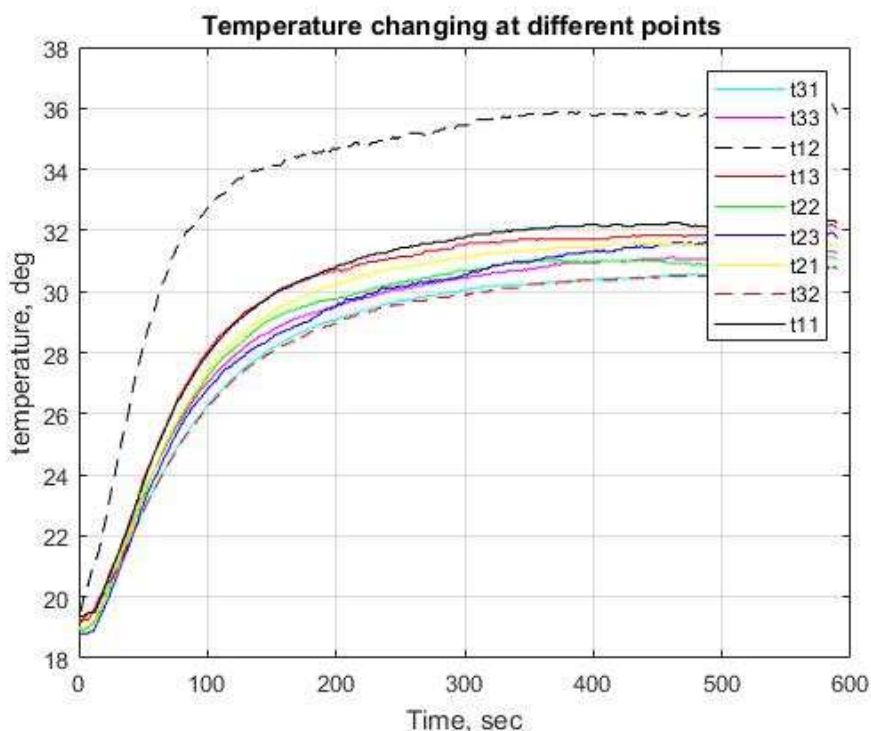


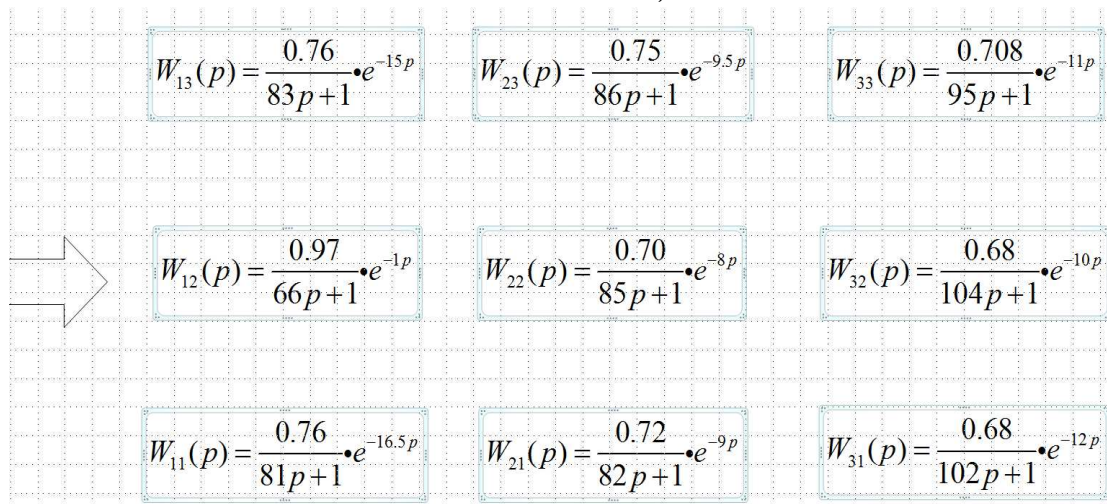
Рисунок 2 – Графики изменения температур точек

Передаточная функция для каждой экспериментальной точки в общем виде соответствует выражению:

$$W_{ij}(p) = \frac{k_{ij}}{T_{ij}p+1} e^{-\tau_{ij}p}, \quad (2)$$

где,  $k$  – коэффициент передачи, характеризующий свойства в статическом режиме;  $T$  – постоянная времени, характеризующая инерционность звена;  $\tau$  – время запаздывания

В результаты аппроксимации представлены на рисунке 3. При удалении от точки присоединения приточной вентиляции коэффициент передачи будет уменьшаться. Величина запаздывания возрастает, однако для точек, расположенных слева и справа от точки подключения вентиляции величина запаздывания составляет наибольшее значение порядка 15-17 секунд. Это обусловлено наличием застойных зон и струйного эффекта движения воздушного потока в пространстве.



**Рисунок 3 – Структурная схема распределенного объекта**

Для определения усредненной ошибки просуммируем сигналы с каждого из 9 датчиков температуры и найдем среднее из них. Для данной схемы осуществим подбор параметров настройки ПИД-регулятора, исходя из обеспечения максимального быстродействия с одновременным ограничением по величине управляющего воздействия и перерегулированию для системы.

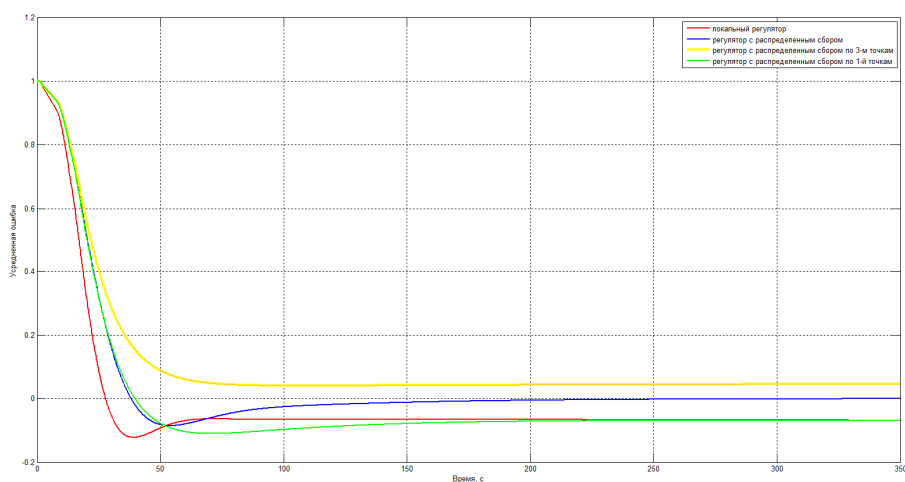
Также для сравнения был произведен расчет локального регулятора, сигналом для работы которого, является значение температуры в точке  $T_{22}$ . Вдобавок к рассмотренным ранее распределенному и локальному регуляторам оценим работу распределенного регулятора для случая сбора информации о температуре в точках, находящихся на оси направления струи (точки  $T_{12}$ ,  $T_{22}$ ,  $T_{32}$ ). Также рассмотрим систему управления с рассчитанным распределенным регулятором, для работы которого используется информация только о температуре в средней точке.

Для оценки, эффективности работы распределенного и локального регулятора, выберем критерий качества, связанный с определением интеграла ошибки между заданной и действительной величиной в каждой точке измерения:

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \int |T_{зад}(t) - T_i(t)| dt \quad (3)$$

Минимальное значение данного критерия соответствует минимальному отклонению температур во всех точках измерения.

Сравнение 4-х систем возможно на основе анализа графика изменения усредненной ошибки по 9-ти точкам (рисунок 4).



**Рисунок 4 – График изменения усредненной ошибки. Красная линия локальный регулятор; синяя – регулятор с распределенным сбором; желтая - регулятор с распределенным сбором по трем точкам ; зеленая - регулятор с распределенным сбором по одной точке**

Наилучшие результаты продемонстрировал распределенный регулятор со сбором информации в 9 точках, обеспечивая нулевую статическую ошибку. Остальные регуляторы приводят к наличию неустранимой усредненной ошибки, что физически означает «перегрев» или «недогрев» пространства модели.

Интегральный критерий качества (3) рассчитанный для всех 4-х случаев представлен следующими числовыми значениями:  $I_{\text{локального регулятора}}=38.94$ ;  $I_{\text{распределенного регулятора}}=25.83$ ;  $I_{\text{распределенного регулятора 3 точки}}=37.97$ ;  $I_{\text{распределенного регулятора 1 точке}}=45.01$ .

Таким образом, предлагаемая системы управления, основанная на сборе и усреднении информации о температуре в 9-и точках обеспечивает максимальное качество управления, исходя из критерия минимизации отклонения средней температуры от заданного значения. Даже при отсутствии всех информационных каналов на основе данных с 3-х точек измерения, находящиеся на оси струи, система управления обеспечивает качество выше системы с локальным регулятором. Однако при этом следует учитывать, что использование распределенного регулятора для управления исходя из значения температуры только в одной точке существенно ухудшает качественные показатели системы управления.

УДК 621.314

Студ. М. В. Петровский  
 Науч. рук. доц. Н. П. Коровкина  
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ);  
 доц. Н. Н. Пустовалова  
 (кафедра информационных систем и технологий, БГТУ)

## ПРЕИМУЩЕСТВА ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕД АСИНХРОННЫМИ

Доля затрат на электроэнергию в зависимости от энергоемкости производства варьируется от незначительной до существенной. По оценкам специалистов удвоение цен на электроэнергию вызывает рост цен в промышленности на выпускаемую продукцию на 6 – 15%. В связи с этим актуальным становится переход в промышленности с асинхронных двигателей (АД) на энергосберегающие вентильно-индукторные (ВИД).

Развитие силовой и информационной электроники в последней четверти XX века привело к появлению на рынке ряда новых электроприводов с различными типами электромеханических преобразователей (синхронными реактивными, синхронными с постоянными магнитами, индукторными и др.) и электронными коммутаторами – аналогами традиционных коллекторов.

За последние 20 лет в мире выполнен большой объем исследований и разработок нового вида электрических машин – вентильно-индукторных двигателей и базирующихся на них электроприводов. Этому способствует простота устройства ВИД, определяющая относительно невысокую стоимость изготовления, простоту и дешевизну их эксплуатации и стремительное развитие силовой и управляющей полупроводниковой техники. Анализ научно-технической информации, посвященной этому направлению, позволяет сделать вывод о перспективности применения электроприводов с ВИД.

ВИД представляет собой достаточно сложную электромеханическую систему, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

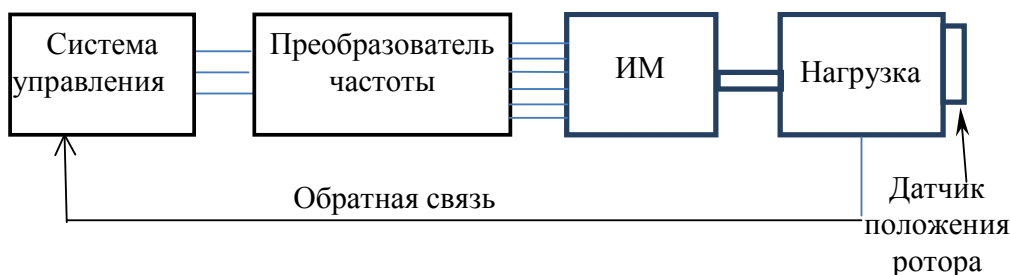


Рисунок – Структурная схема ВИД

В ее состав входят: индукторная машина (ИМ), преобразователь частоты, система управления и датчик положения ротора.

Функциональное назначение этих элементов ВИД очевидно: преобразователь частоты обеспечивает питание фаз ИМ однополярными импульсами напряжения прямоугольной формы; ИМ осуществляет электромеханическое преобразование энергии, система управления в соответствии с заложенным в нее алгоритмом и сигналами обратной связи, поступающими от датчика положения ротора, управляет данным процессом.

По своей структуре ВИД ничем не отличается от классической системы регулируемого электропривода. Именно поэтому он и обладает всеми ее свойствами. Однако, в отличие от регулируемого электропривода, например с асинхронным двигателем, индукторная машина в ВИД не является самодостаточной. Она принципиально неспособна работать без преобразователя частоты и системы управления.

Преобразователь частоты и система управления являются неотъемлемыми частями ИМ, необходимыми для осуществления электромеханического преобразования энергии. Это дает право утверждать, что совокупность структурных элементов, представленных на рисунке, является не только системой регулируемого электропривода, но и электромеханическим преобразователем энергии.

Целью данной работы явилось определение экономии электрической энергии при замене асинхронных двигателей вентиляционно-индукторными.

Экономичность оценивалась по сэкономленной электроэнергии ( $\Delta W$ ), экономии денежных средств на электроэнергию ( $C_{сэ}$ ), сроку окупаемости ( $T_{ок}$ ).

Исходными величинами для расчета экономичности применения ВИД на приводе электродвигателей насосов и вентиляторов явились номинальные мощности асинхронного двигателя и ВИД, коэффициенты полезного действия этих двигателей, число часов работы за год, стоимость ВИД.

Экономический эффект от реализации энергосберегающего мероприятия определялся с учетом приведения к номинальному режиму эксплуатации оборудования, т.к. при трудно прогнозируемом режиме работы оборудования и значительном его отклонении от номинального годовая экономия электроэнергии за более длительный период может существенно отличаться от расчетной. Экономия электрической энергии при замене асинхронных двигателей на ВИД одинаковых мощностей определялась по величине снижения потерь.

Разность потерь мощности АД и ВИД:

$$\Delta P = \Delta P_{1АД} - \Delta_1 P_{ВИД} = P_{ном} \cdot (1/\eta_{АД} - 1/\eta_{ВИД}), \text{ кВт},$$

где  $\Delta P_{1АД}$ ,  $\Delta_1 P_{ВИД}$  – потребляемые мощности соответственно АД и ВИД, кВт;

$P_{ном}$  – номинальная мощность двигателей АД и ВИД, кВт;  $\eta_{АД}$  – КПД асинхронного двигателя;  $\eta_{ВИД}$  – КПД вентильно-индукторного двигателя.

Экономия электрической энергии в год:

$$\Delta W = P_{ном} \cdot (1/\eta_{АД} - 1/\eta_{ВИД}) \cdot t, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где  $t$  – число часов работы за год,  $t = 4300$  час.

Стоимость сэкономленных материальных средств в течение года:

$$C_{сэ} = \Delta W \cdot b \cdot 10^6, \text{ руб},$$

где  $b = 0,23$ руб. – стоимость одного кВт·ч электроэнергии для предприятий по двухставочному тарифу (по состоянию на 1.12.2017г).

Срок окупаемости мероприятия (без учета затрат на монтаж асинхронного двигателя и наладку ВИД):

$$T_{ок} = C_{ВИД} / C_{сэ}, \text{ год},$$

где  $C_{ВИД}$  – стоимость ВИД, руб.

В таблице 1 приведены исходные данные и оценка экономии электроэнергии при замене асинхронных двигателей вентильно-индукторными в насосных агрегатах.

**Таблица 1 - Использование ВИД в насосных агрегатах**

№№ п.п	$P_{ном}$ , кВт	$\eta_{ад}$ , О.е.	$\eta_{вид}$ , о.е.	$\Delta P$ , кВт	$\Delta W$ , кВтч	$C_{сэ}$ , тыс.руб	$C_{вид}$ , тыс.руб	$T_{ок}$ , год
1	2,8	0,83	0,92	2,28	9836	2,254	1,66	0,74
2	13	0,85	0,92	1,19	5117	1,177	1,69	1,45
3	14	0,85	0,94	1,57	6751	1,553	1,75	1,13
4	18,5	0,84	0,92	1,92	8234	1,894	1,80	0,95
5	18,5	0,7	0,92	6,32	27176	6,250	1,80	0,30
6	22	0,87	0,92	1,37	5891	1,355	1,82	1,35
7	30	0,88	0,94	3,31	14233	3,274	2,08	0,65
8	45	0,87	0,94	3,87	16632	3,825	2,60	0,68
9	55	0,86	0,92	4,1	17630	4,055	3,90	0,96
10	75	0,70	0,92	25,62	112875	25,961	5,85	1,62
11	90	0,79	0,94	18,18	78174	1,798	6,41	0,38
12	95	0,88	0,92	1,37	20425	4,698	8,45	1,80
13	110	0,88	0,94	8,8	37840	8,703	9,37	1,10
14	132	0,87	0,92	8,25	39732	9,158	11,70	1,30
15	160	0,87	0,94	2,87	61920	14,242	13,00	0,93

Результаты выполненных расчетов свидетельствуют о принципиальной возможности и реальной практической эффективности замены асинхронных двигателей вентиляльно-индукторными в насосных агрегатах.

В таблице 2 приведены исходные данные и оценка экономии электроэнергии при замене асинхронных двигателей вентиляльно-индукторными в вентиляторах.

**Таблица 2 – Использование ВИД в вентиляторах**

№№ п.п	$P_{ном}$ , кВт	$\eta_{ад}$ , о.е.	$\eta_{вид}$ , о.е.	$\Delta P$ , кВт	$\Delta W$ , кВтч	$C_{сэ}$ , тыс.руб	$C_{вид}$ , тыс.руб	$T_{ок}$ , год
1	18	0,77	0,92	7,78	16254	3,738	1,79	0,5
2	20	0,85	0,92	1,8	7740	1,780	1,79	1,0
3	22	0,78	0,94	4,84	20812	4,780	12,82	0,4
4	22	0,68	0,92	8,36	35948	8,268	1,82	0,2
5	22	0,62	0,92	11,66	50138	11,531	1,82	0,1
6	75	0,89	0,94	4,50	19350	4,450	5,85	1,3
7	95	0,89	0,94	0,06	24510	5,637	8,45	1,5
8	100	0,89	0,94	8,36	25800	5,934	9,23	1,6
9	160	0,85	0,94	17,6	75680	17,406	12,9	0,8

Вентиляторы также могут быть оснащены вентиляльно-индукторными двигателями.

Таким образом, использование вентиляльно-индукторных двигателей наряду с техническими преимуществами этих двигателей, дает значительную экономию электроэнергии на предприятиях при сравнительно небольшом сроке окупаемости.

Вентиляльно-индукторный электропривод отличается конструктивной простотой и надежностью в работе. Обмотка статора выполнена из сосредоточенных, концентрических катушек, поэтому двигатель не требует ремонта и обслуживания, за исключением обслуживания подшипниковых узлов и уплотнений по регламенту.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коровкина, Н. П. Особенности выбора и использования электродвигателей на производстве / Н. П. Коровкина, Н. Н. Пустовалова, В. П. Кобринец // Электрика, № 5. – 2015. – С. 2-5.
2. Коровкина, Н. П. Методы энергосбережения в условиях промышленных предприятий / Н. П. Коровкина, Н. Н. Пустовалова, В. П. Кобринец // Электрика, № 5. – 2014. – С. 18-21.
3. Жалевич, В. А. Энергосберегающие организационно-технические мероприятия на производстве / В. А. Жалевич, Н. П. Коровкина // Электроцех, № 5. – 2016. – С. 32-35.

УДК 614.84

Студ. В.И. Лакуцевич, П.Л. Липский

Науч. рук. доц. О.Г. Барашко

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## ERP СИСТЕМА. МОДУЛЬ РАБОТЫ С ВНЕШНИМИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ

Модуль предназначен для организации эффективной работы отделов продаж, сервисного обслуживания, логистики, маркетинга, аналитической службы, службы качества и других подразделений на всех этапах взаимодействия с клиентами и внутри компании. Повышение эффективности происходит, потому что, все отделы, и сервисы имеют равный доступ к единой базе данных, а значит значительно снижается время на движения данных внутри системы

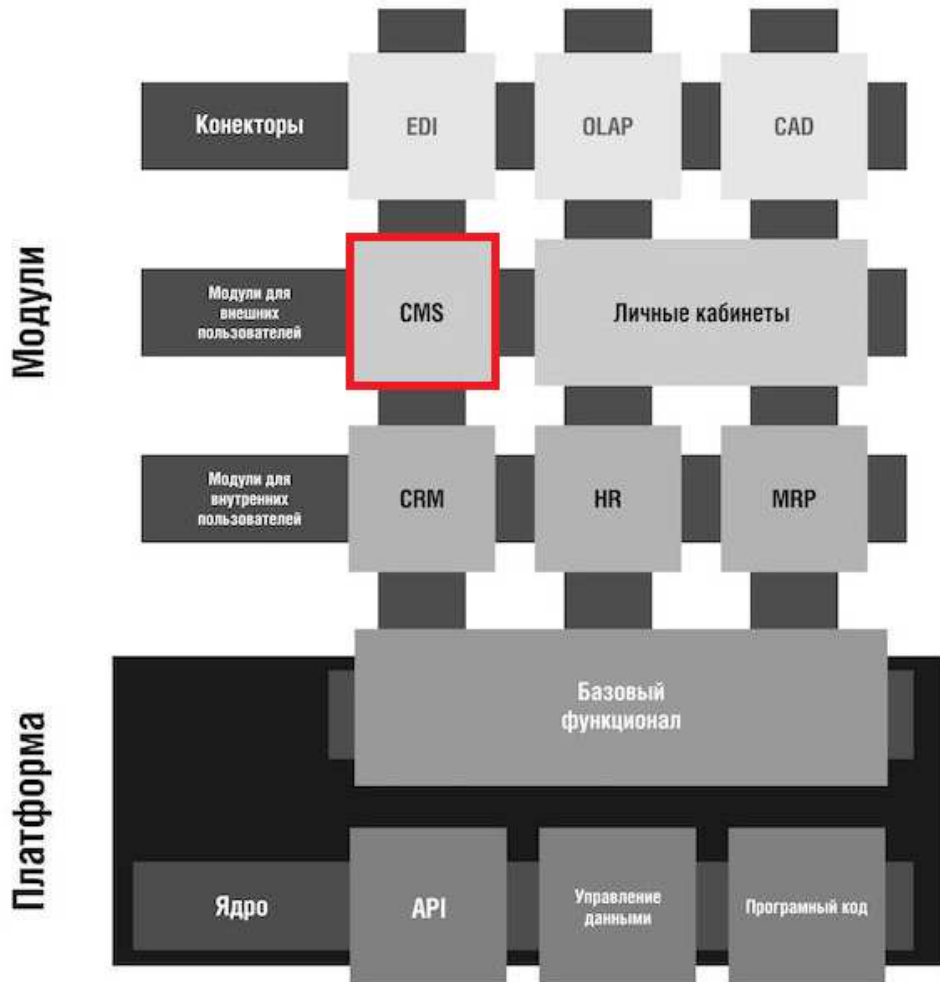


Рисунок 1 - Расположения модуля в ERP системе



Демонстрацию системы и её настройку приведу на примере программы "1С:ERP управление предприятием 2".

**Управление клиентской базой.** Сбор всех данных о клиентах в единую клиентскую базу компании, подробная характеристика о каждом клиенте и контактном лице, расширенная аналитика по клиенту, динамика изменения состояния отношений с клиентами, возможность быстрого ввода и доступа к информации о клиенте, отслеживание взаимосвязей между клиентами, прикрепление различных типов файлов к карточкам клиента с отслеживанием истории их изменений, визуальная настройка отображения списка клиентов в зависимости от наложенных условий.

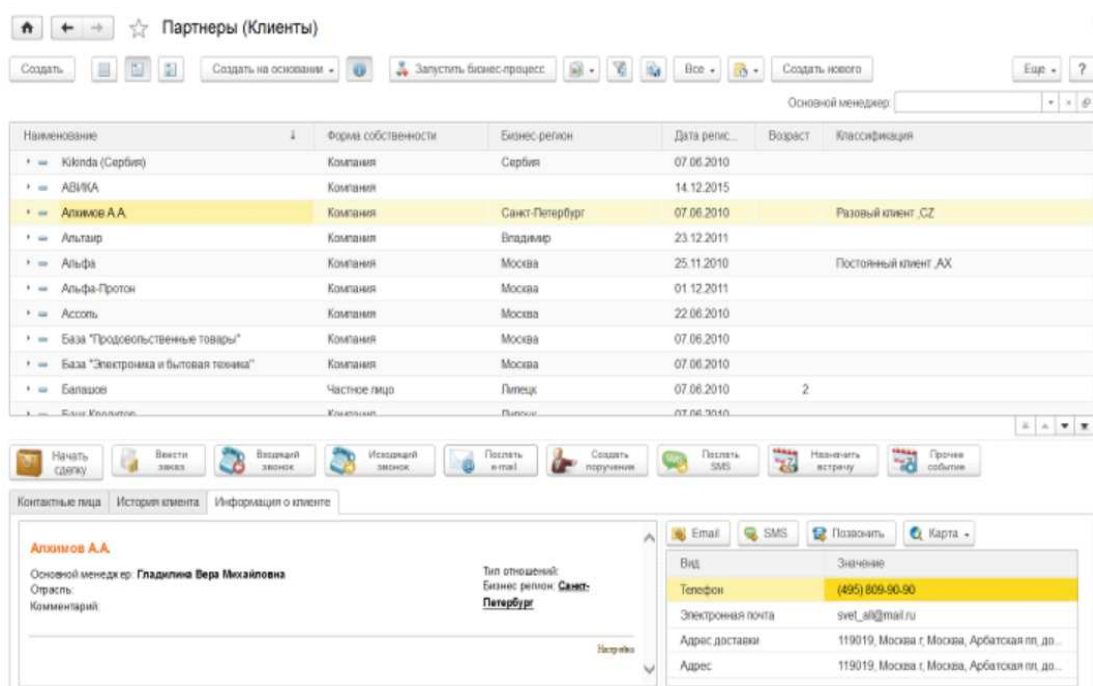


Рисунок 2 - Клиентская база

**Управление контактами и интересами клиента.** Учет истории контактов с клиентами, регистрация интересов клиентов, диспетчеризация контактов клиентов в режиме реального времени, оперативная передача информации между отделами, планирование контактов, шаблоны типовых контактов с клиентами, выделенное рабочее место для обработки массовых обращений клиентов. Планирование количества контактов с клиентами в разрезе менеджеров, подразделений, план-фактный анализ контактов.

Кикинда (Сербия) (Партнер)

Главное | Файлы | Взаимосвязи | Договоры | Договоры лизинга | **Документы клиента** | История классификации... | История реквизитов | Еще...

Взаимодействия по клиенту "Kikinda (Сербия)"

Создать | Найти | Отменить поиск | Обновить | Создать на основании | Привязать взаимодействия | Все

Вид документа	Номер	Дата	Описание	Сумма	Ва...	Партнер	Контактное л...	Уча
Электронное пись...	00-00000001	10.02.2017 13:5...	Fwd: Модуль CRM			Kikinda (Сер...	Смирнов Оп...	bas
Электронное пись...	00-00000010	10.02.2017 16:4...	проверка входящего письма с вложе...			Kikinda (Сер...	Смирнов Оп...	bas
Событие	УУ00-000001	10.02.2017 17:1...	проверка входящего письма с вложе...			Kikinda (Сер...	Смирнов Оп...	
Электронное пись...	00-00000011	13.02.2017 10:1...	Уважаемый Смирнову Олегу Иванов...			Kikinda (Сер...	Смирнов Оп...	
Электронное пись...	00-00000014	13.02.2017 10:2...	Уважаемый Смирнову Олегу Иванов...			Kikinda (Сер...	Смирнов Оп...	
Электронное пись...	00-00000015	13.02.2017 10:4...	Уважаемый Смирнову Олегу Иванов...			Kikinda (Сер...	Смирнов Оп...	
Бизнес-процесс	00-000007	20.02.2017 19:5...	1.1 Продажа	150 000,00		Kikinda (Сер...	Смирнов Оп...	
Событие	УУ00-000005	21.02.2017 11:2...	Бизнес-процесс от 20.02.2017/ 1.1 П...			Kikinda (Сер...	Смирнов Оп...	
Электронное пись...	00-00000016	21.02.2017 11:3...	Коммерческое предложение клиенту ...			Kikinda (Сер...	Смирнов Оп...	

**Бизнес-процесс от 20.02.2017/ 1.1 Продажа**

Готов к КП, ждет на два координатора  
Клиент: Kikinda (Сербия)  
Контактное лицо: Смирнов Олег Иванович

Статус: **Запланировано**  
Результат  
Ответственный: **Федоров Борис Михайлович**  
Подразделение: Отдел продаж торгового направления

Автор: Федоров Борис Михайлович  
Основание: Бизнес-процесс 00-000007 от 20.02.2017  
19:51:06

Рисунок 3 - Управление контактами клиента

**Управление бизнес-процессами (BPM).** Общий процессный подход во всей функциональности решения: подсистема проектирования, публикации и анализа эффективности бизнес-процессов. Готовые бизнес-процессы по работе с клиентами с возможностью изменения их "на лету" и создания новых карт бизнес-процессов в режиме пользователя без программирования. Создание регламента работы с клиентами по продаже, сервисному обслуживанию, работы с рекламациями; создание регламента работы внутри компании по исполнению поручений, согласованию различных документов, маркетингу. Добавление, согласование, редактирование документов и их версий (Workflow) в рамках имеющихся бизнес-процессов и вне их.

**Управление продажами.** Управление стадиями и этапами продажи на основе бизнес-процессов, создание типовых шаблонов действий по продаже. Контроль и анализ просроченной задолженности. Назначение цен и скидок, механизм автоматической подготовки коммерческих предложений и договоров на основе корпоративных шаблонов (в MS Word или OpenOffice). Механизм оперативного управления и анализа цикла продаж - "воронка продаж", создание различных вариантов просмотра "воронки продаж" и планирование по их выполнению. Планирование продаж в различных разрезах: номенклатуре, клиентам, проектам, менеджерам и подразделениям, план-фактный анализ продаж

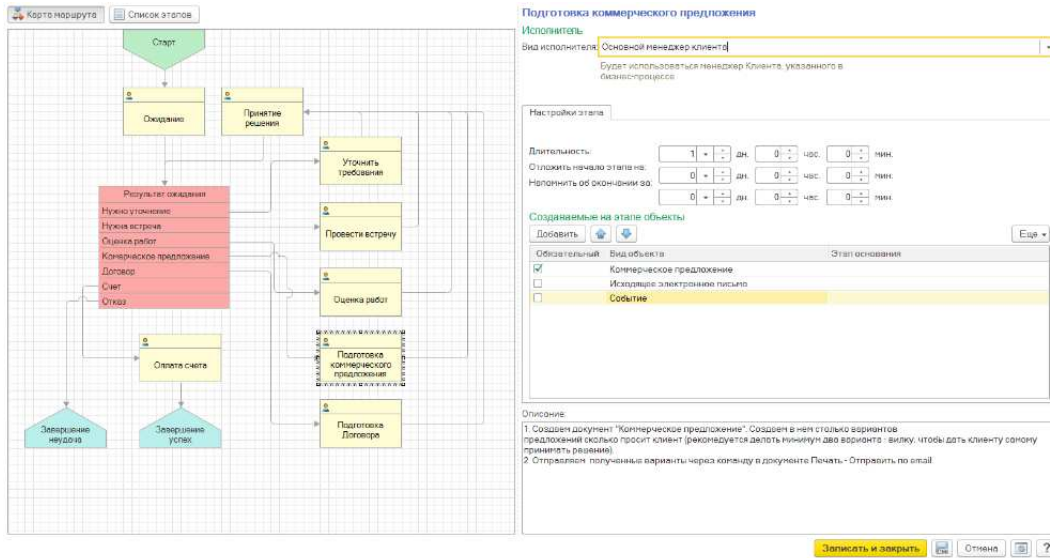


Рисунок 4 - Управления бизнес процессом

**Подсистема оповещений**, возможность получения оповещений через: напоминания в решении, e-mail, SMS, индивидуальная настройка оповещений для планируемых / просроченных событий в Календаре, новых / просроченных задачах (поручения, другие бизнес-процессы), создание индивидуальных напоминаний (жалобы и т.д.).

**Интеграция с другими системами.** Система имеет широкие возможности взаимодействия с другими приложениями и обеспечивает: интеграцию с Microsoft Office и/или OpenOffice для подготовки печатных форм договоров, коммерческих предложений или других типовых документов на основе утвержденных шаблонов; возможность интеграции с офисной телефонией (СТИ) с наиболее популярными АТС: Panasonic KX-TDA/TDE, Avaya IP Office, Cisco Call Manager/Call Manager Express/UC, IP-АТС "АГАТ UX" IP CallCenter Asterisk; интеграция с SMS и электронной почтой; двухсторонний обмен данными с учетными системами: "1С:Бухгалтерия 8", "1С:Бухгалтерия 7.7", "1С:Упрощенная система налогообложения"; загрузку адресных классификаторов и другой справочной информации с ИТС или Интернет; обновление/загрузка прайс-листов от поставщиков, загрузка клиентов и их контактной информации из внешних файлов в форматах MS Excell, \*.txt, MS Outlook; обмен данными с другими приложениями через текстовые файлы, DBF-файлы и XML-документы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барашко, О.Г. Автоматики и автоматизация: базовые концепции, методы, схемы: Учеб. пособие/Э.Я. Рапопорт. — М.: Высш. шк., Минск 2018. — 6 с.

УДК 625.01

Студ. Д.П. Шкудун, М.С. Жукович  
Науч. рук. доц. И.Ф. Кузьмицкий

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **СИНТЕЗ СЧИТЫВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ С ДИСКА**

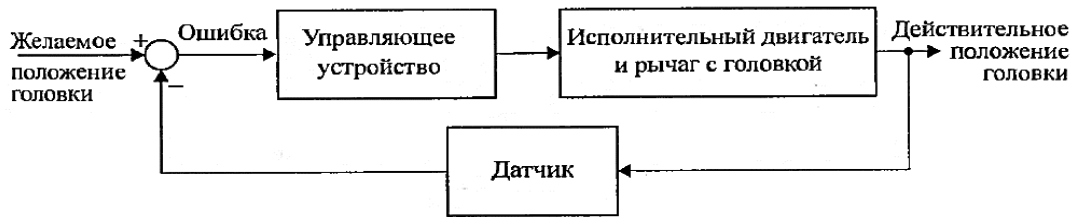
Во многих современных приборах используется диск, который должен вращаться с постоянной скоростью. Это, например, проигрыватель компакт-дисков, дисковод компьютера, требующие вращения с постоянной скоростью, несмотря на износ и изменение характеристик электродвигателя и вариацию других параметров. Моя задача состоит в синтезе системы управления скоростью вращения диска, которая гарантировала бы, что действительная скорость отличается от желаемой не более, чем на заданную величину. Было рассмотрено два варианта решения задачи: разомкнутая система и система с обратной связью.

Чтобы обеспечить вращение диска, в качестве исполнительного устройства выбран электродвигатель постоянного тока, скорость вращения которого пропорциональна приложенному напряжению. Этот входной сигнал двигателя должен иметь достаточную мощность, поэтому нам также потребуется выбрать усилитель. В разомкнутой системе для задания напряжения, пропорционального желаемой скорости, использована батарея. Затем это напряжение усиливается и подается на двигатель. Чтобы реализовать систему с обратной связью, используется датчик-тахогенератор, выходное напряжение которого пропорционально скорости вращения его вала. Сигнал ошибки образуется как разность между входным напряжением и напряжением тахогенератора.

Можно ожидать, что замкнутая система по своим характеристикам будет превосходить разомкнутую, т. к. она всегда будет стремиться свести ошибку к минимуму. Если элементы системы обладают стабильными характеристиками, то в замкнутой системе можно добиться точности поддержания заданного значения скорости, в 100 раз превышающей аналогичный показатель разомкнутой системы.

2011Целью системы управления является позиционирование считывающей головки на определенной дорожке диска. Переменная, которой нужно управлять с высокой точностью — это положение считывающей головки, закрепленной на конце рычага. Диск вращается со скоростью от 1800 до 7200 об/мин, а головка плавает над диском на расстоянии менее 100нм. Кроме того, перемещение от дорожки к дорожке должно совершаться не более чем за 50мс.

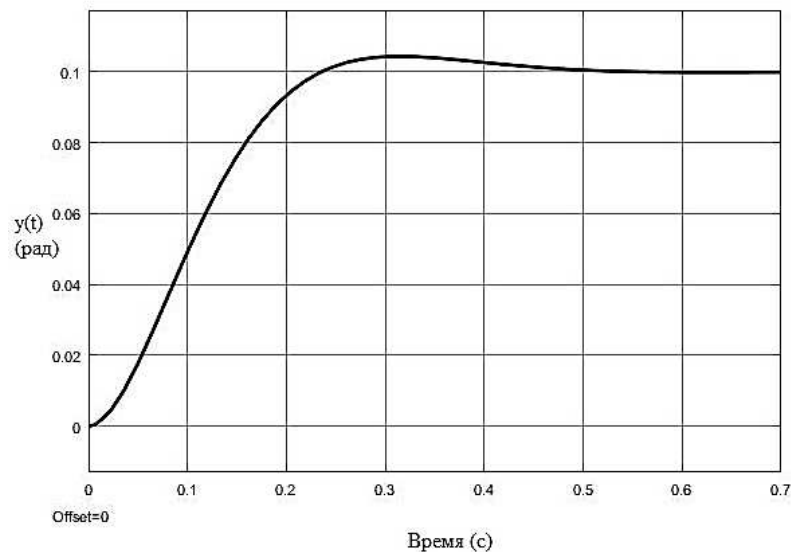
Для приведения в действие рычага считывающей головки используется двигатель с постоянными магнитами. Головка считывания закреплена на скользящем элементе, закрепленном на рычаге.



**Рисунок 1 – Замкнутая система управления дисководом**

Гибкая пластина дает возможность головке плавать над диском с зазором менее 100нм. Тонкопленочная головка воспринимает магнитный поток и формирует сигнал, поступающий на усилитель. Сигнал ошибки формируется на основании заданного номера дорожки. Полагая, что положение считывающей головки определяется точно, можно считать, что передаточная функция датчика  $H(s) = 1$ .

Полагая  $r(t)=0.1$  рад, т.е. желаемое положение дорожки  $R(s)=0.1/s$  помощью функции step получим реакцию системы, изображенную на рис. 2.

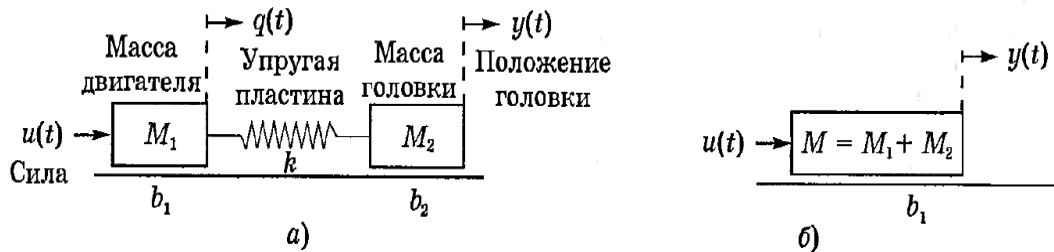


**Рисунок 2 – Реакция системы на воздействие  $R(s)=0.1/s$**

Поскольку для быстрого перемещения головки необходимо иметь малую массу рычага, то необходимо учесть эффект изгиба пластины, изготовленной из очень тонкой упругой стальной ленты. Обозначим массу двигателя через  $M_x$ , а массу головки через  $M_2$ . Изгиб пластины будем характеризовать коэффициентом упругости  $K$ . Сила  $u(t)$ , приводящая в движение массу  $M_x$ , создается двигателем постоянного тока. Если пластина является абсолютно жесткой (не подвержен-

ной изгибу), то мы получим упрощенную модель рис.3(б).

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} + b_1 \frac{dy}{dt} = u(t)$$



**Рисунок 3 - Модель системы с двумя массами и упругой пластиной(а) и упрощенная модель с жесткой пластиной(б)**

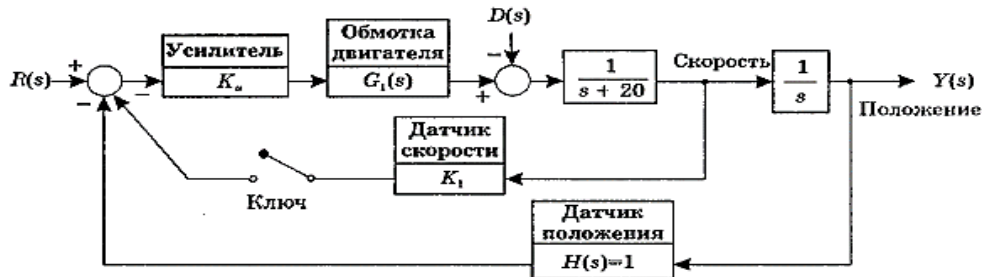
Т.к. характер процесса является сильно колебательным, поэтому ясно, что необходимо иметь пластину с большой жесткостью, т. е. выбирать  $K > 100$ . В результате получим следующий переходной процесс.

Система должна точно позиционировать считывающую головку и в то же время обладать способностью уменьшать влияние изменения параметров и внешних ударов и вибраций. Механический рычаг и пластина могут резонировать на частотах, с которыми появляются внешние возмущения, например тряска портативного компьютера. К числу возмущений относятся также физические удары, износ или биения в подшипниках привода, изменение параметров элементов системы. Исследуем реакцию системы на возмущения и ее поведение при изменении параметров. В этой системе в качестве регулятора используется усилитель с настраиваемым коэффициентом усиления. Получим переходную характеристику системы при разных значениях коэффициента  $K_a$ . Передаточная функция замкнутой системы с учетом условия возмущение  $D(s) = 0$  имеет вид:

С помощью пакета MATLAB мы получим переходные характеристики системы при значениях  $K_a = 10$  и  $K_a = 80$ . Система быстрее обрабатывает задающее воздействие в случае  $K_a = 80$ , но реакция имеет колебательный характер, что, неприемлемо. Теперь определим влияние возмущения. Желательно, что-бы это влияние было незначительным. С помощью скрипта MATLAB при  $K_a = 80$  и возмущении  $D(s) = 1/s$  мы получим реакцию системы. Чтобы еще сильнее уменьшить влияние возмущения, потребовалось бы взять коэффициент  $K_a$  больше, чем 80. Однако при этом реакция системы на сигнал  $r(t) = 1, t > 0$  была бы сильно колебательной.

При увеличении  $K_a$  до 60 влияние возмущения уменьшается поч-

ти в 2 раза. Если мы хотим удовлетворить требования, предъявляемые к системе, то нам придется выбрать компромиссное значение  $K_a$ . Теперь мы займемся анализом устойчивости этой системы в зависимости от параметра  $K_a$  и изменим конфигурацию системы:



**Рисунок 4 - Замкнутая система управления положением считывающей головки с возможностью реализации обратной связи по скорости**

Когда ключ разомкнут, чтобы система была устойчива, должно выполняться условие  $K_a < 4080$  (исходя из решения уравнения). Теперь введем обратную связь по скорости, замкнув ключ.

Чтобы обеспечить устойчивость системы, параметры  $K_a$  и  $K_1$  надо выбрать так, чтобы было  $b_1 > 0$ , где  $K_a > 0$ . Рассчитанная система с помощью MATLAB при  $K_1 = 0,05$  и  $K_a = 100$ . Время становления (по критерию 2%) приблизительно равно 260мс, а перерегулирование отсутствует.

Синтез ПИД-регулятора. Далее синтезируем ПИД-регулятор, обеспечивающий желаемый вид реакции системы. Такой регулятор применяется для того, чтобы движение головки к заданной дорожке осуществлялось с максимально возможной скоростью. От системы требуется, чтобы она обладала нулевой установившейся ошибкой как при линейном, так и при ступенчатом входных сигналах.

Задачу мы будем решать методом корневого годографа. Выберем  $z = -120 + j40$  и определим  $5K_3$  так, чтобы корни характеристического уравнения замкнутой системы находились слева от линии  $s = -100$ . Таким образом показатели качества соответствуют табличным, откуда следует, что система удовлетворяет всем требованиям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Попов, Е. П. Теория линейных систем и управления / Е.П. Попов. – М.:Наука, 1987. –341с.
2. Юревич, Е.И. Теория автоматического управления / Е.И. Юревич. – Л.:Энергия, 1975. –431с.
3. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления / Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

УДК 676.222

Маг. Н. М. Брель

Науч. рук. доц. О. Г. Барашко

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА В РАФИНЁРЕ**

В данной статье будут рассмотрены основные материальные потоки процесса размола древесной щепы, их информационные примеры и в целом управление процессом с помощью данных этих переменных. Также приведён сквозной пример процесса размола древесной волокнистой массы для производства газетной бумаги в условиях РУП «Завод газетной бумаги».

Цель процесса – размол волокнистой массы для подготовки её к отливу, придать ей определенную степень гидратации, сделать волокна гибкими, пластичными, увеличить их поверхность (фибрилляцией и набуханием), обеспечить лучший контакт и связь волокон в бумажном листе (придать ему прочность); придать бумажному листу путем укорочения, расщепления и фибрилляции волокон требуемую структуру и физические свойства: объемный вес, пухлость, пористость, впитывающую способность и др. Главным параметром является характеристика помола  $A^{\circ\text{ШР}}_{\text{ТММ}} = 10\text{--}30$  °ШР (градусов Шоппер-Риглера).

Участок состоит из рафинёра (процесс размола), двигателя рафинёра (М1), питающего конвейера (М2), насоса, подающего светлый фильтрат (М3).

Рафинёр – это современная дисковая мельница, в данном случае с одним вращающимся диском, закреплённом на роторе рафинёра. Ротор приводится в движение с помощью двигателя М1, номинальной мощностью 10 МВт. На дисках устанавливаются размалывающие гарнитуры – насадка на диски с некоторым протектором.

Древесная щепа в виде пробки поступает на питающий шнек рафинёра с расходом, выражающимся в загруженности двигателя шнека (для производства газетной бумаги  $F_{\text{щ}} = 70\%$ ). В шнек также поступает светлый фильтрат ( $F_{\text{сф}} = 160$  л/мин, пропорционально расходу щепы) для того, чтобы масса не подгорала при размолу на рафинёре. Часть светлого фильтрата испаряется и направляется на рекуперацию, а часть уходит как конденсат в отстойники мутного фильтрата.

Далее шнек транспортирует щепу в рафинёр через центр неподвижного диска. Щепа попадет в пространство между дисками, где размалывается под избыточным давлением ( $P_{\text{ТММ}} = 5$  бар) до степени помола  $A^{\circ\text{ШР}}_{\text{ТММ}} = 10 - 30$  °ШР, которая косвенно регулируется скоростью



вращения ротора и расстоянием между размалывающими дисками ( $Z = 0,25$  мм), и центробежной силой выталкивается в транспортировочный трубопровод для дальнейшей её обработки.

В первые 40 – 60 минут после запуска пар, необходимый для процесса, поступает из системы рекуперации пара, далее пар производится самим рафинёром.

Качество помола определяется в лабораторных условиях, поэтому на выдувной линии установлен пробоотборник массы.

Степень помола регулируется задаваемой мощностью синхронного двигателя рафинёра и расстоянием между размалывающими дисками. Зазор между дисками контролируется оптическим датчиком, а для поддержания необходимого расстояния ( $Z = 0,25$  мм) ротор перемещается с помощью сервоклапана и задания давления масла в гидросистеме высокого давления ( $P_M = 14$  бар).

Кроме масла используются ещё два вспомогательных материальных потока: уплотнительная вода – используется для снижения износа механических уплотнений; промывная вода – используется для защиты (промывки) механических уплотнений от волокнистой массы, попадающей на уплотнения.

Также на рафинёре осуществлен аварийный останов при превышении допустимой вибрации ( $V$ ), осуществлён контроль мощности двигателя ( $J = 5$  МВт).

В данном самом простом случае управления процессом размола волокнистой массы используется всего 12 информационных переменных, но их количество может как возрасти в несколько раз в силу стремления к большей автоматизации и гибкости процесса, экономии энергоресурсов и сырья, экологичности процесса и т.п., так и уменьшиться.

Обычно в линии подготовки термомеханической массы к отливу присутствует несколько ступеней размола. При использовании рафинёров их конструкции на разных стадиях размола фактически не отличаются, за исключением их размеров, мощности двигателя, другой топографии сменных размалывающих гарнитур. Также на второй и (или) последующих стадиях могут использоваться рафинёры с тремя дисками, что усложняет конструкцию рафинёра, но материальные потоки и их информационные переменные остаются теми же.

На рисунке 1 представлена схема анализа процесса размола волокнистой массы с изображением на ней материальных потоков, переменных. Также максимально точно соблюдены направления потоков и расположение измеряющих приборов.

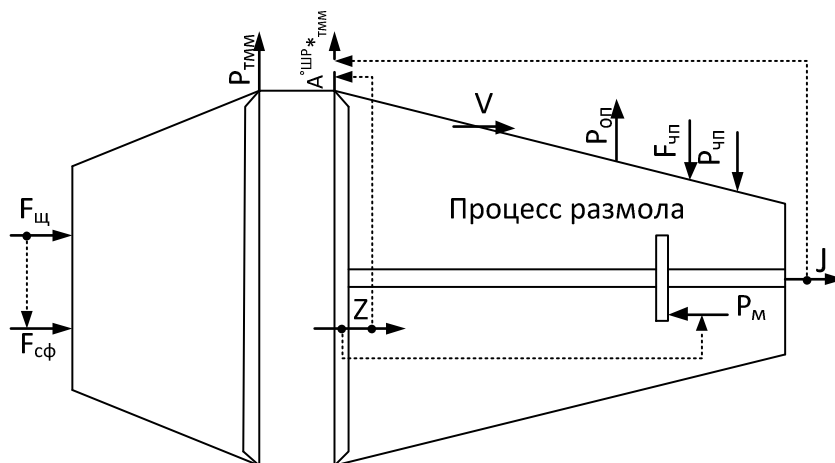
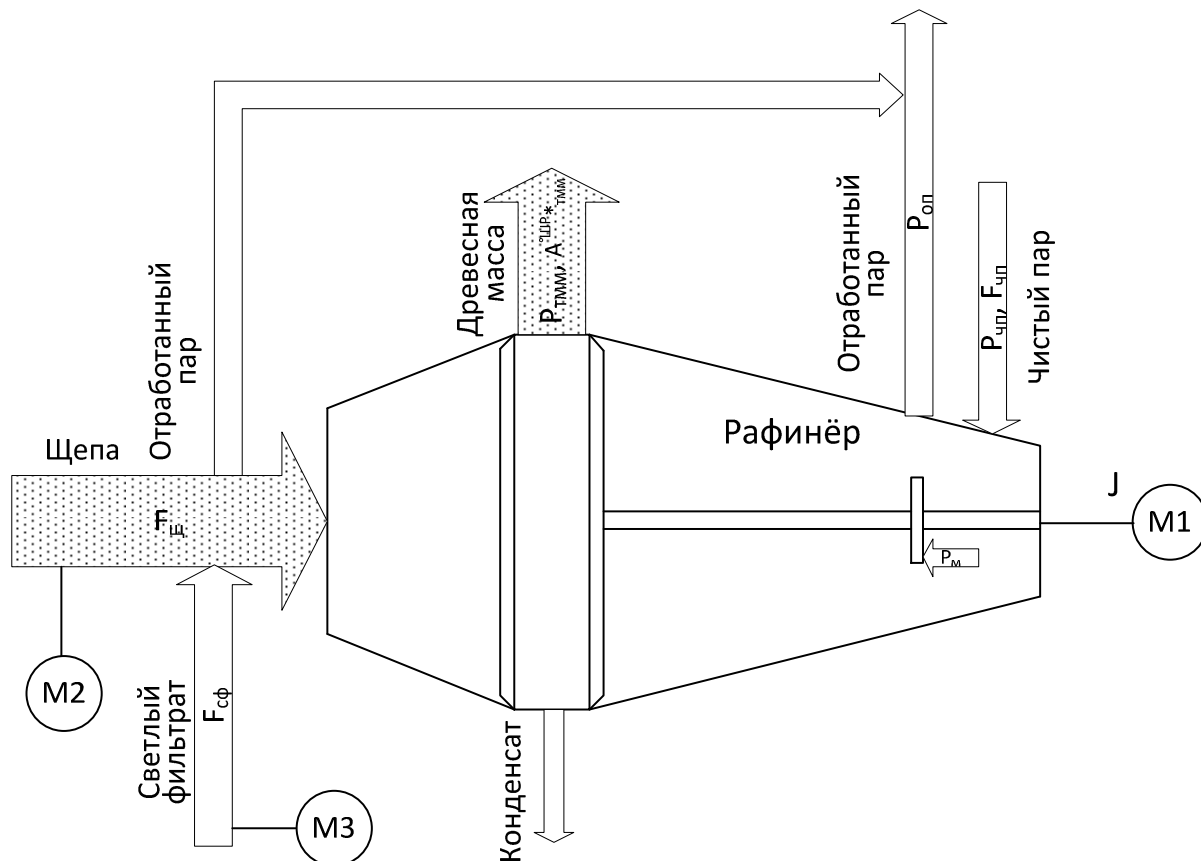


Рисунок 1 - Схема анализа процесса размола волокнистой массы

УДК 676.222

Инж. А. М. Рудь; маг. А.В. Широков.  
Науч. рук. доц. Д. С. Карпович, В.П. Кобринец  
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФРИТТЫ**

Стекловидная фритта используется в основном для приготовления остекловывающихся составов. Она не содержит пигментов, глушителей или оксидов, улучшающих адгезионную связь между покрытием и металлической поверхностью, и дает после остекловывания поверхность, более или менее прозрачную, но неоднородно матовую или окрашенную. Процесс приготовления фритты выполняется в фриттоваренной печи.

Данный процесс рассматривался на базе ОАО «Керамин». Управление процессом осуществляется путем поддержания соотношения объема подаваемого газа и воздуха необходимого для поддержания горения в печи, а следовательно температуры внутри печи. В условиях многомерности процесса по выходным показателям, возмущающим и управляющим воздействиям, существования сильных взаимосвязей между технологическими элементами объекта, выбор направления и размеров изменения управляющих воздействий, а также косвенная оценка текущих значений показателей качества являются сложными для технолога задачами.

Один из важнейших параметров, характеризующих работу фриттоваренной печи, - температура. Автоматическое регулирование температуры в рабочем пространстве печи не позволяет поддерживать заданный оптимальный температурный режим.

Большое значение для процесса стекловарения имеет и постоянство газовой среды в ванной печи. Изменение количества топлива, подаваемого в печь, меняет соотношение между ним и количеством воздуха. Это определяет характер факела горения, условия теплообмена в печи потери теплоты с отходящими дымовыми газами. При недостатке воздуха увеличение подачи в печь газа не приведет к повышению температуры в печи, а наоборот, вызовет ее снижение и потери количества несгоревшего газа через дымовую трубу. Стабильность режима горения может быть достигнута только при условии, что количество воздуха будет изменяться одновременно с количеством подаваемого топлива. При постоянной характеристике топлива такое требование может быть удовлетворено автоматическим выдерживанием заданного соотношением между расходом газа и воздуха.

Автоматическое регулирование соотношения газ – воздух обеспечивают экономичность процесса горения за счет полноты сгорания и отсутствия избытка воздуха.

В печах необходимо поддерживать постоянный контроль стекломассы. Колебания уровня стекломассы отрицательно сказываются: увеличивают разъедание огнеупорного материала кладки бассейна печи.

Недостатком является то, что на данном этапе варки фритты в плавильной печи может образовываться излишки азота, что приведет к уменьшению температуры горения, поэтому требуется правильное соотношения газ-воздух. Наша задача стабилизировать температуру в печи.

Проектируемая система управления должна обеспечивать: высокую надёжность схемы автоматизации, устойчивую работу при наличии внешних возмущающих факторов, сигнализацию и индикацию режимов работы, удобство ведения процесса и обслуживания, эффективность работы.

Реальные объекты управления в большей или меньшей степени подвергаются возмущающим воздействиям, которые нарушают нормальный ход процесса в объекте. Многие возмущающие воздействия трудно заранее предусмотреть, что значительно усложняет управление процессом.

Для предупреждения об отклонении от нормальной работы в конструкции оборудования предусматривают сигнализацию, а при режимах работы близким к опасным, — средства автоматической остановки и отключения оборудования от источников энергии (автоматические блокировки).

Основным требованием к проектируемой системе управления является получение продукции заданного состава при заданной производительности и минимальных затратах.

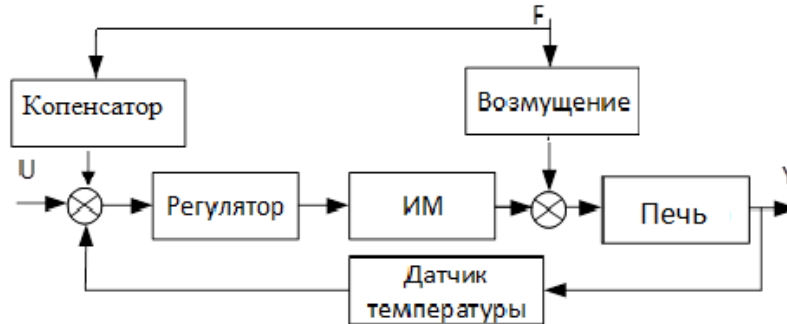
**Математическая модель разработанная для данного процесса.** Для управления тепловыми объектами, которым относиться процесс плавления стеклобоя в стекловаренной печи, могут применяться различные методы управления.

АСР инвариантных к возмущению применяется для регулирования объектов у которых на регулируемую величину существенное влияние оказывает возмущающее воздействие, вызывающее нежелательное отклонение регулируемой величины от заданного значения. Структурная схема данной АСР представлена на рис.1.

В печи путем сгорания топлива вырабатывается количество тепла, необходимого для плавления готового продукта. Тогда уравнение

теплового баланса можно записать с условием сгорания топлива и подачи воздуха:

$$\lambda G_n + C_b G_b Q_b = Q_1 \quad (1)$$



**Рисунок 1 – Структура схема АСР при наличии возмущения**

где  $\lambda$  – тепло сгорания топлива;  $C_b$  – теплоемкость воздуха;  $G_b$  – расход топлива;  $Q_b$  – температура воздуха.

Уравнение (1) показывает, что количество тепла  $Q_1$  превращается за счет сгорания топлива и подачи воздуха.

Плавильное отделение имеет большую массу нагреваемого материала, в котором может накопиться тепло. Поэтому процессы в нем будут инерциальные.

Уравнение теплового и материального балансов для небольших отклонений имеет вид:

$$\lambda G_n + C_b G_b Q_b + C_{M1} Q_{M1} g = C_M M \frac{dQ_M}{dt} + C_b G_b Q_{b1} + C_{M2} Q_{M2} g \quad (2)$$

где  $C_M$ ,  $C_{M1}$ ,  $C_{M2}$  – теплоемкость материала при температуре  $Q_M$ ,  $Q_{M1}$ ,  $Q_{M2}$ ;  $Q_M$ ,  $Q_{M1}$ ,  $Q_{M2}$  – температура материала в аппарате на входе и выходе;  $M$  – запас материала в аппарате;  $g$  – расход материала;  $Q_{b1}$  – температура отходящей смеси воздуха и паров воды.

Примем, что  $Q_M = Q_{M2} = Q_{Mcp}$  это значит будем брать среднюю температуру материала. Кроме того, свяжем температуру отходящих газов с температурой материала, это значит примем, что  $Q_{b1} = Q_1 K Q_{Mcp}$ . После ввода указанных допущений и некоторых преобразований уравнения (2) примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda C_T}{C_b G_b K + C_M g} + \frac{C_b G_b Q_b}{C_b G_b + C_M g} + \frac{C_{M1} Q_{M1}}{C_b G_b K + C_M g} = \\ = \frac{C_M M}{C_b G_b K + C_M g} \cdot \frac{dQ_{Mcp}}{dt} + Q_{Mcp} \end{aligned} \quad (3)$$

Обычно  $G_n$  или  $G_b$  является управляющим воздействием, это значит процессами в стекловаренной печи может управлять или изменени-

ем подачи топлива, или изменения подачи воздуха, либо одного из двух в определенных соотношениях.

Температура воздуха  $Q_b$  и расход готового продукта  $g$  является возмущающими воздействиями. Поскольку  $Q_b$  обычно меняется незначительно, то основным возмущающим воздействием будем расход материала  $g$ . Отметим, что теплоемкость материала  $C_M$  также может являться входным возмущающим воздействием за счет теплоемкости изменяемой в нем температуры. В уравнении (3) за регулируемую величину принята температура готового продукта  $Q_M$ . Когда ее измерять сложно, то за регулируемую величину можно принять температуру  $Q_b$  отходящих газов. Вид уравнения от этого не меняется.

В зависимости от характера управления стекловаренной печи можно описать двумя уравнениями. Для случая управления при  $g = \text{const}$  и  $G_b = \text{const}$  имеем:

$$T \frac{dQ_M}{dt} + Q_M = \frac{\lambda C_T}{C_b G_b K + C_M g} Q_n = K_b G_T \quad (4)$$

и передаточная функция:

$$W_1(p) = \frac{Q_M(p)}{G_T(p)} = \frac{K_b}{Tp + 1} \quad (5)$$

Для случая управления расходом воздуха при  $g = \text{const}$  и  $G_T = \text{const}$ :

$$T \frac{dQ_M}{dt} + Q_M = \frac{\lambda}{C_b K + C_M + \frac{g}{G_b}} = K_1 G_b \quad (6)$$

и передаточная функция:

$$W_2(p) = \frac{Q_M(p)}{G_b(p)} = \frac{K_1}{Tp + 1}$$

Уравнение, которое характеризует возмущающее воздействие при  $G_T = \text{const}$  и  $G_b = \text{const}$ :

$$T \frac{dQ_M}{dt} + Q_M = \frac{C_{M1} Q_{M1}}{C_M + \frac{C_b K G_b}{g}} = K_2 g \quad (7)$$

и передаточная функция:

$$W_3(p) = \frac{Q_M(p)}{g(p)} = \frac{K_2}{Tp + 1}$$

Таким образом, в первом приближении стеклобой можно представить апериодическим звеном первого порядка.

Передаточная функция объекта по каналу температура высушенного материала - расход

УДК 681.5

Студ. М.М. Гвоздев, Т.А. Шульга  
 Науч. рук. доц. Д.А. Гринюк, доц. И.О. Оробей  
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА НА НАСТРОЙКУ РЕГУЛЯТОРА

При разработке регуляторов для промышленных инструментов надо учитывать характеристики исполнительных механизмов. Регулятор строится таким образом, чтобы с учетом передаточной характеристики механизма соблюдалась итоговая характеристика была более близкой к требуемой идеальной (чаще всего пропорционально-интегрально-дифференциальной (ПИД)). Для этого чаще всего исполнительный механизм охватывают отрицательной обратной связью или несколько блоков (с учетом исполнительного механизма) – общей отрицательной связью. Иногда цепь обратной связи охватывает только регулятор таким образом, чтобы итоговая характеристика регулятора с цепью обратной связи вместе с последовательно соединенным механизмом давала нужный закон регулирования. В современных программируемых контроллерах могут быть использованы и другие структуры ПИД закона управления.

Передаточную характеристику исполнительного механизма со временем полного оборота  $T_{act}$  можно аппроксимировать выражением:

$$W_{act} = \frac{1}{T_{act}p} \quad (1)$$

где  $p$  – оператор Лапласа.

Исследовали структуру формирования ПИ-закона регулирования с установкой датчика положения (рис. 1, а). Одновременно с нелинейной структурой исследовался и ее линеаризованный аналог (рис. 1, б).

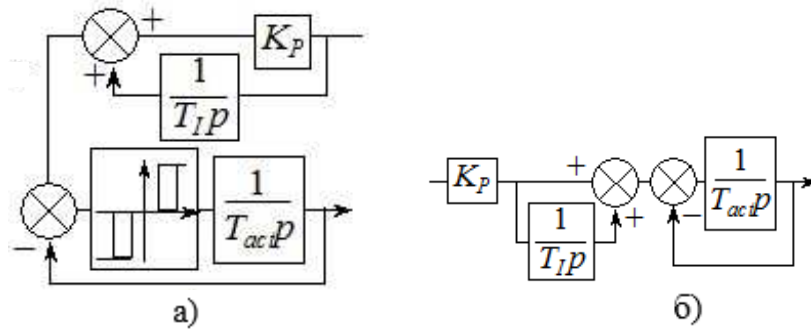
Передаточная функция объекта представляла звено:

$$W_o(p) = \frac{e^{-\tau p}}{T^2 p^2 + 2Tz p + 1} \quad (2)$$

где  $T, z$  – коэффициенты;  $\tau$  – время задержки.

Исполнительное устройство с регулирующим органом и датчик имели следующие параметры соответственно:

$$W_{act} = \frac{1}{9p}, \quad W_{sensor} = \frac{1}{3p + 1} \quad (3)$$



**Рисунок 1 - Структуры, которые используются для управления исполнительным механизмом. а) структура с установкой датчика положения на регулирующий орган; б) линейный аналог структуры а**

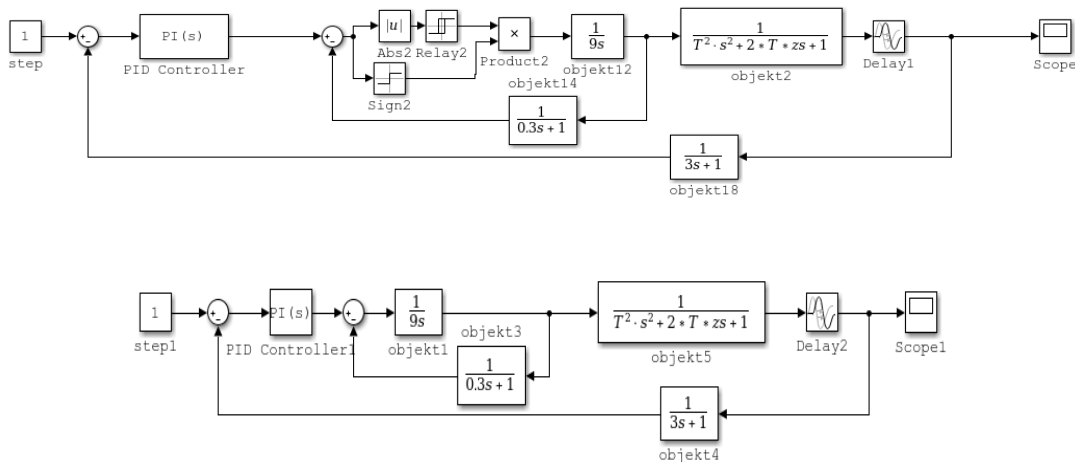
Настройки каждой из структур находили исходя из минимизации интегрального критерия качества:

$$S_{\min} = \int_0^{\infty} t^2 |e| dt \rightarrow \min \quad (4)$$

где  $t$  – время с момента изменения сигнала задания;  $e$  – ошибка на выходе объекта.

Поиск настроек происходил путем математического моделирования в пакете MatLAB методом градиентного спуска. Задавались определенными значениями коэффициентов нашего объекта. Коэффициент  $T$  принимал значения: 160; 120; 80; 60; 50; 40; 30; 20; 5; 2.5. Синхронно с ним изменяли значение запаздывания  $\tau$ : 32; 24; 16; 12; 10; 8; 6; 4; 2; 1; 0.5. Для всех значений коэффициента  $T$  и времени запаздывания меняли параметр  $z$ : 2; 1.5; 1.1; 0.5.

Структурные схемы систем в Simulink имели вид, представленный на рис.2.



**Рисунок 2 - Структурные схемы нелинейной и линейной систем в Simulink**



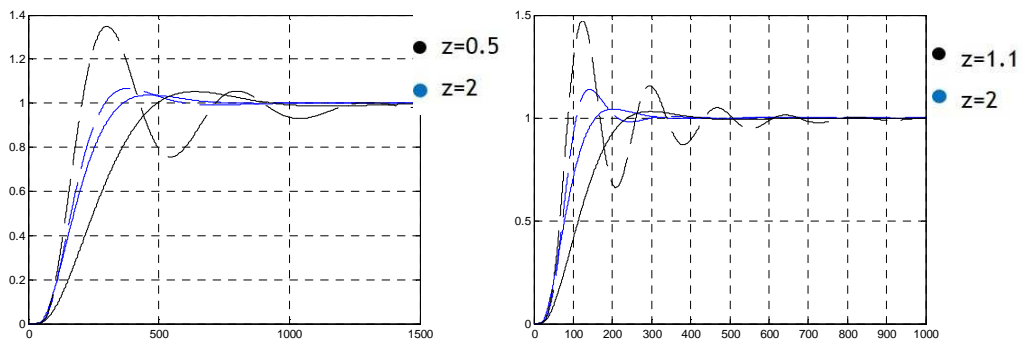
Некоторые результаты оптимизации настроек регуляторов рассматриваемых структур при разных значениях коэффициентов  $T$  и  $z$ , а также времени запаздывания, представлены в таблицах 1, 2 и на рис. 3 (штрих-пунктиром обозначен нелинейный вариант).

**Таблица 1 - Результаты исследования параметров линейной системы**

Значения параметров	Кр				Ti			
	$z=2$	$z=1.5$	$z=1.1$	$z=0.5$	$z=2$	$z=1.5$	$z=1.1$	$z=0.5$
$T=160, \tau=32$	3,36	2,14	1,16	0,32	177,62	196,23	251,05	418,71
$T=120, \tau=24$	3,1	2,08	0,99	0,15	143	151,45	211,35	358,22
$T=80, \tau=16$	3,1	1,87	0,93	0,17	96	111,97	150,91	239,59
$T=60, \tau=12$	2,8	1,71	0,9	0,13	80	92,33	118,75	188,90
$T=50, \tau=10$	2,58	1,55	0,85	0,17	71,93	84,81	104,32	153,09
$T=40, \tau=8$	2,41	1,55	0,83	0,15	61,76	66,88	86,94	127,79
$T=30, \tau=6$	1,98	1,33	0,83	0,12	56,37	61,10	68,8	102,02
$T=20, \tau=4$	1,78	1,17	0,76	0,07	41,85	47,19	51,43	78,12
$T=10, \tau=2$	1,14	0,8	0,61	0,15	34,02	36,11	35,66	41,64
$T=5, \tau=1$	0,86	0,67	0,61	0,39	26,31	26,29	23,87	21,61
$T=2.5, \tau=0.5$	0,70	0,68	0,62	0,71	20,47	18,63	17,09	13,16

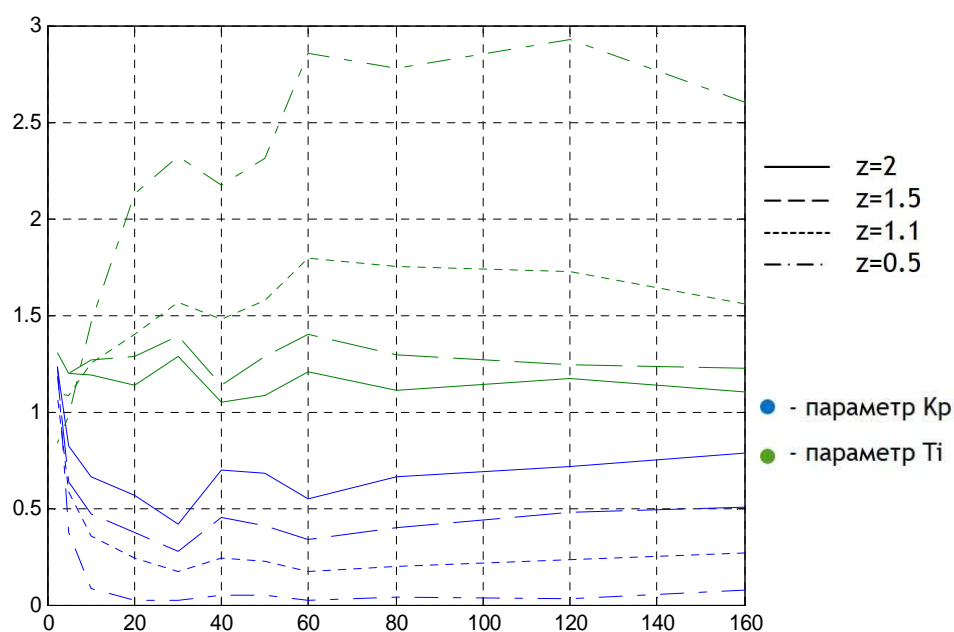
**Таблица 2 - Результаты исследования параметров нелинейной системы**

Значения параметров	Кр				Ti			
	$z=2$	$z=1.5$	$z=1.1$	$z=0.5$	$z=2$	$z=1.5$	$z=1.1$	$z=0.5$
$T=160, \tau=32$	4,27	4,27	4,27	4,27	160,89	160,89	160,89	160,89
$T=120, \tau=24$	4,32	4,32	4,32	4,32	122,38	122,38	122,38	122,38
$T=80, \tau=16$	4,65	4,65	4,65	4,65	86,4	86,4	86,4	86,4
$T=60, \tau=12$	5,13	5,13	5,13	5,13	66,15	66,15	66,15	66,15
$T=50, \tau=10$	3,81	3,81	3,81	3,81	66,20	66,20	66,20	66,20
$T=40, \tau=8$	3,45	3,45	3,45	3,45	58,76	58,76	58,76	58,76
$T=30, \tau=6$	4,75	4,75	4,75	4,75	44	44	44	44
$T=20, \tau=4$	3,13	3,13	3,13	3,13	36,70	36,70	36,70	36,70
$T=10, \tau=2$	1,71	1,71	1,71	1,71	28,54	28,54	28,54	28,54
$T=5, \tau=1$	1,04	1,04	1,04	1,04	22,01	22,01	22,01	22,01
$T=2.5, \tau=0.5$	0,58	0,58	0,58	0,58	15,71	15,71	15,71	15,71



**Рисунок 3 - Примеры переходных характеристик: а) при  $T=160, \tau=32$ ; б) при  $T=60, \tau=12$**

Результаты оптимизации показывают, как меняются переходные характеристики в зависимости от задаваемых значений параметров системы и линейных или нелинейных свойств системы. Найденные значения параметров регулятора позволяют оценить отношение параметров линейной системы к параметрам нелинейной, т.е. как нелинейные свойства исполнительного механизма влияют на регулятор в целом. Это можно выразить через графики, которые показывают отношение параметров линейной системы к нелинейной при разных значениях нашего коэффициента  $z$  (рис. 4).



**Рисунок 4 - График отношения параметров регулятора линейной системы к нелинейной при разных значениях  $z$**

**Заключение.** Опираясь на полученные данные и построенные графики можно сделать выводы: с увеличением отношения постоянной времени объекта к скорости передвижения исполнительного механизма разница между настройками, которые найдены для нелинейной системы и линеаризованной системы несколько уменьшается, но остается ощутимой. При этом просматривается влияние вида передаточной функции. При наличии в объекте колебательных корней, отличие оптимальных настроек между нелинейной и линеаризованной системой возрастает. Наименьшие отличия наблюдаются в случае, если динамика объекта меньше исполнительного механизма.

УДК 338.432

Студ. Р.А. Лыков

Науч. рук. доц. С.В. Рязанцев

(кафедра информационных и управляющих систем, ФГБОУ ВО ВГУИТ)

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ В ВЫХОДНОМ КОЛЛЕКТОРЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Современные системы водоотведения - это сложный комплекс инженерных сооружений и устройств, включающий в себя различные элементы. Вследствие подвижки грунтов или других внешних динамических и статических нагрузок большинство трубопроводов пришли в негодность и не имеют должной пропускной способности. Перегруженность системы водоотведения приводит к подтоплению городской территории.

При разработке автоматизированной системы управления водозабором в первую очередь следует учитывать, что в выходном коллекторе необходимо регулировать выходное давление. Оно не должно превышать и падать ниже заданной величины в рамках допустимой погрешности, в следствии неравномерного расхода воды во времени,.

Поэтому необходимо рассмотреть контур регулирования скорости двигателя в зависимости от выходного давления.

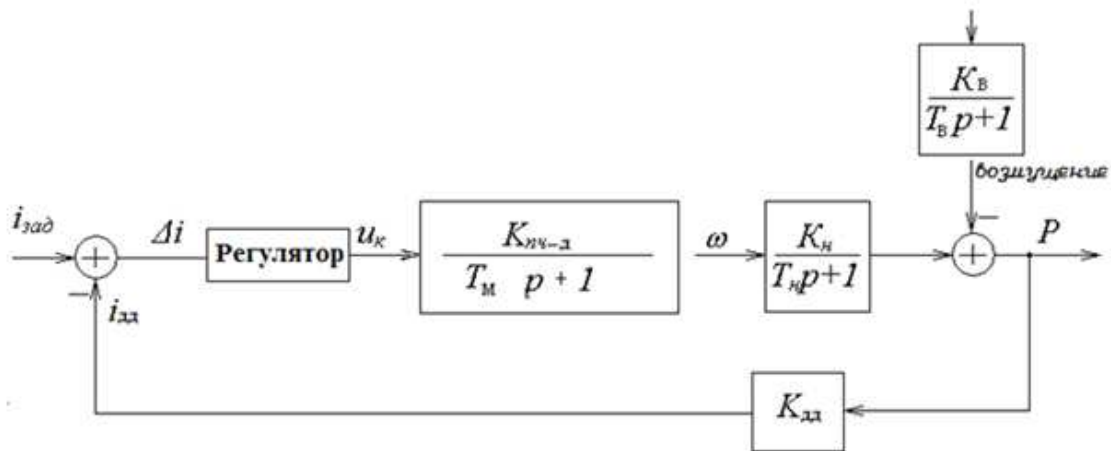


Рисунок - Структурная схема системы регулирования давления в коллекторе

Проведя моделирование данной системы в среде MATLAB Simulink, и проанализировав полученные результаты, можно прийти к выводу, что поставленная задача была успешно решена. В системе полностью отсутствует статическая ошибка и полностью отрабатываются возмущающие воздействия, что собственно и являлось главной целью моделирования.

УДК 681.513.66

Студ. Т.Ю. Бочарова

Науч. рук. доц. Е.А. Балашова

(кафедра информационных и управляющих систем, ФГБОУ ВО ВГУИТ)

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РОСТА БИОМАССЫ

Технологический процесс культивирования микроорганизмов отличается сложным регламентом, существенная нестационарность, низкая воспроизводимость. Построение систем управления процессом культивирования микроорганизмов является актуальной задачей. Особенности технологического процесса обуславливают выбор адаптивных систем управления.

В работе [1] была предложена математическая модель периодического процесса культивирования микроорганизмов, определена структура и параметры математической модели по каналу температура культуральной среды - концентрация микроорганизмов.

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_0 x(t) = b_0 u(t), \quad (1)$$

где  $a_1 = 1,146$ ,  $a_0 = 0,764$ ,  $b_0 = -1,132$  – коэффициенты модели объекта управления;  $x(t)$  – переменная состояния;  $u(t)$  – управляющее воздействие.

Целью работы является синтез управления  $u(t)$ , обеспечивающего нулевое установившееся значение ошибки слежения  $e_{уст}$

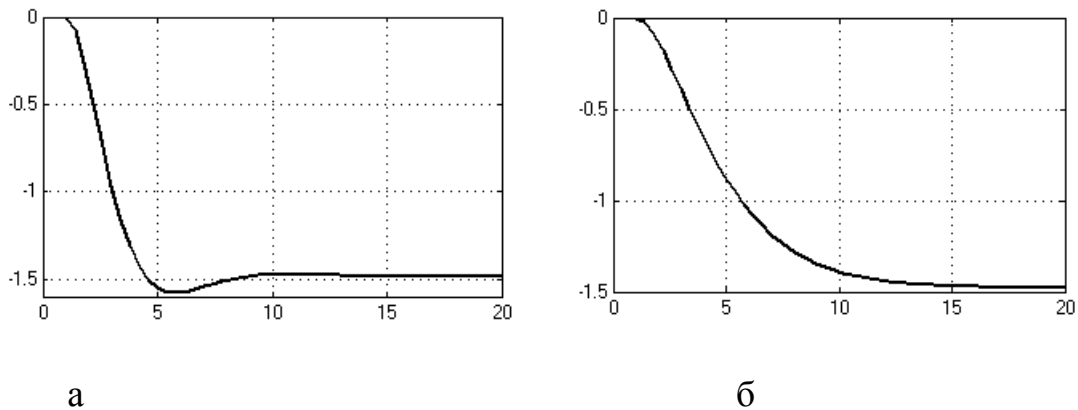
$$e_{уст} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} (x_m(t) - x(t)) = 0, \quad (2)$$

за эталонной моделью

$$\frac{d^2x_m(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx_m(t)}{dt} + a_0 x_m(t) = \beta_0 g(t) \quad (3)$$

для любых задающих воздействий  $g(t)$ .

Динамика изменения концентрации микроорганизмов (рис. 1 а) полученная на основе построения имитационной модели объекта управления в Simulink имеет небольшое колебание. Для более эффективного (без перерегулирования) проведения процесса размножения эталонная модель, была построена на основе стандартного характеристического полинома Ньютона, где  $a_1 = 1$ ,  $a_0 = 0,25$ ,  $\beta_0 = 0,37$  - коэффициенты эталонной модели, полученные на основе ограничений на время переходного процесса, перерегулирования и ошибки регулирования.



**Рисунок 1 – Переходной процесс по каналу температура культуральной среды - концентрация микроорганизмов а – объекта управления, б – эталонной модели**

Синтез закона управления был осуществлен на основе принципа инвариантности (ошибка слежения системы должна быть равна нулю) в предположении, что все параметры объекта управления известны [2]. Для удобства проведения математических преобразований дифференциальные уравнения объекта управления и эталонной модели были сведены к системе дифференциальных уравнений в канонической форме путем введения замены  $x_1(t) = x(t)$ . В матричном виде уравнение объекта (1) и эталонной модели (3) можно записать следующим образом:

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A\bar{x}(t) + bu(t), \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{x}_m(t)}{dt} = A_m \bar{x}_m(t) + b_m g(t), \quad (5)$$

где  $A = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{vmatrix}$ ,  $b = \begin{vmatrix} 0 \\ b_0 \end{vmatrix}$ ,  $A_m = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{vmatrix}$ ,  $b = \begin{vmatrix} 0 \\ \beta_0 \end{vmatrix}$ .

Система автоматического управления процессом культивирования микроорганизмов описывается системой дифференциальных уравнений в матричной форме

$$\begin{cases} \frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A\bar{x}(t) + bu(t), \\ \frac{d\bar{x}_m(t)}{dt} = A_m \bar{x}_m(t) + b_m g(t), \\ u(t) = \theta^T z = \frac{-a_0 + a_0}{b_0} x + \frac{-a_1 + a_1}{b_0} \dot{x} + \frac{\beta_0}{b_0} g \end{cases} \quad (6)$$

Поскольку процесс размножения микроорганизмов отличается большой изменчивостью, коэффициенты предложенной модели объекта управления отличаются как для различных этапов процесса, так и в пределах одного этапа. Т. е.  $a_0, a_1, b_0$  – неизвестные параметры, величина которых ограничена,  $a_{0\min} \leq a_0 \leq a_{0\max}, a_{1\min} \leq a_1 \leq a_{1\max}, b_{0\min} \leq b_0 \leq b_{0\max}$ . Следовательно, полученный выше закон управления (6) физически нереализуем, так как его настройки

$$\theta^T = \left| \begin{array}{ccc} \frac{-a_0 + a_0}{b_0} & \frac{-a_1 + a_1}{b_0} & \frac{\beta_0}{b_0} \end{array} \right| \text{ включают значения коэффициентов мо-}$$

дели объекта управления. Для реализации закона управления требуется алгоритм адаптации коэффициентов.

Заменим неизвестные параметры объекта их оценками  $a_0^*, a_1^*, b_0^*$ , тогда закон физически реализуемого регулятора

$$u(t) = \theta^{*T} z,$$

$$\theta^{*T} = \left| \begin{array}{ccc} \frac{-a_0 + \dot{a}_0}{\dot{b}_0} & \frac{-a_1 + \dot{a}_1}{\dot{b}_0} & \frac{\beta_0}{\dot{b}_0} \end{array} \right|, \quad z = |x_1 \quad x_2 \quad g|^T = |x \quad \dot{x} \quad g|^T$$

Синтез алгоритма адаптации [2] настроек регулятора был выполнен из условия обеспечения устойчивости системы и высокого качества слежения за эталонной моделью на основе второго метода Ляпунова, согласно которому для асимптотической устойчивости линейной однородной системы  $x'(t) = A x(t)$  с постоянной матрицей  $A$  необходимо и достаточно чтобы для произвольно выбранной постоянной положительно определенной матрицы  $Q$  линейная алгебраическая система  $A^T P + PA = -Q$  имела единственное решение относительно  $P$ , и чтобы это решение представляло собой симметричную положительно определенную матрицу. Замкнутая система адаптивного управления описывается следующей системой уравнений:

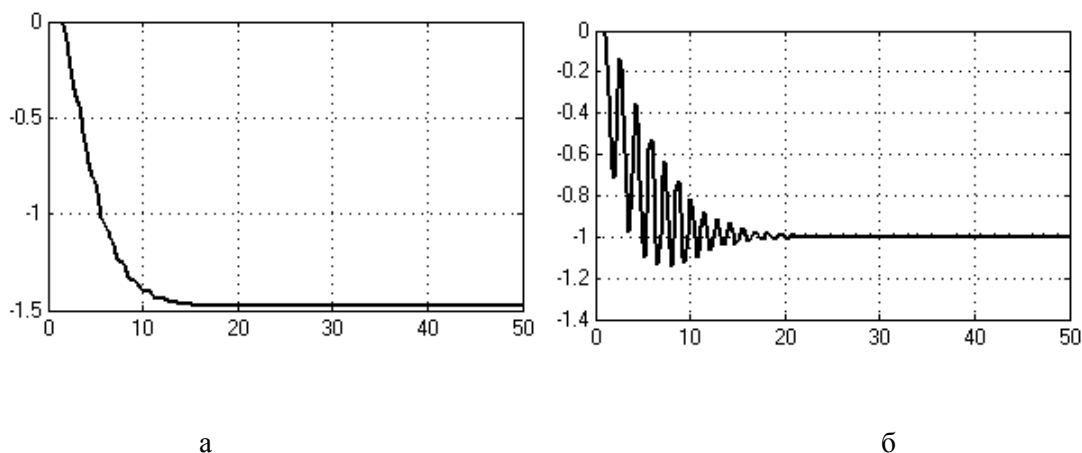
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx(t)}{dt} = \bar{A}x(t) + bu(t) \\ \frac{dx_m(t)}{dt} = A_m x_m(t) + b_m g(t) \\ u(t) = \theta^{*T} z \\ \dot{\theta}^* = \text{sign}(b_0) \Gamma z k^T P e \end{array} \right. , \quad (7)$$

где  $\Gamma$  – диагональная матрица коэффициентов адаптации, состоящая из произвольных положительных коэффициентов, определяющих скорость настройки параметров регулятора, определяемым экспериментально,  $P$  – симметричная положительно определенная матрица, полу-

ченная в результате решения уравнения Ляпунова  $A_m^T P + P A_m = -Q$ , включающего в себя матрицу коэффициентов эталонной модели  $A_m$  и произвольную положительно определенную матрицу  $Q$ ,  $kT = [0 \ 1]$  – вспомогательный вектор коэффициентов.

Динамика роста биомассы (рис. 2 а) и изменение температуры культуральной среды (рис. 2 б) обеспечиваются за счет адаптивной настройки коэффициентов регулятора (7) по следующему закону

$$\begin{cases} \dot{\theta}_1^* = \gamma_x (p_{21}e + p_{22}\dot{e})x \\ \dot{\theta}_2^* = \gamma_{\dot{x}} (p_{21}e + p_{22}\dot{e})\dot{x} \\ \dot{\theta}_3^* = \gamma_g (p_{21}e + p_{22}\dot{e})g \end{cases}$$



**Рисунок 2 – Динамика а – выхода нестационарного объекта управления, б — управляющего воздействия**

**Заключение:** Предложенный алгоритм адаптивного управления позволяет существенно улучшить качество переходного процесса нестационарного объекта управления, гарантирует устойчивость системы управления и сходимости ошибки слежения к нулю и настроек регулятора к конечным значениям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Суханова, Н. В. Разработка адаптивных систем автоматического управления процессом культивирования микроорганизмов: На примере производства дрожжей: автореферат дис. кандидата технических наук : 05.13.01 / Воронеж. технол. акад. - Воронеж, 1996. - 16 с.

2. Методы адаптивного и робастного управления нелинейными объектами в приборостроении / Бобцов А.А., и др. Санкт-Петербургский Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. С.-Пб., 2013.

УДК 681.513.66

Студ. Е.А. Семернин

Науч. рук. доц. И.А. Хаустов

(кафедра информационных и управляющих систем, ФГБОУ ВО ВГУИТ)

## **МЕТОДЫ СОКРАЩЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В АСУТП**

Количество информационных потоков в современных АСУТ ТП значительно превышает пропускную способность ЛВС. В связи с большим объемом информации и необходимостью ее долговременного хранения, а также ограниченностью памяти архива – данные сжимаются, т.е. меняется частота дискретизации сигналов. Как правило, это приводит к искажению реального вида сигнала. Поэтому предложено применение алгоритмов сжатия данных ориентированных на устранение избыточности информации. При этом не возникает необходимости в ограничении количества информации. Это решение уменьшит объем передаваемых пакетов через ЛВС без существенных изменений от реального, и даст более рациональное заполнение памяти архива.

Определение алгоритмов, наиболее эффективных при сжатии-восстановлении данных, базируется на анализе свойств, принципов работы и основных характеристик, а именно:

**Обратимость алгоритма.** Определяет возможность восстановления информации – признак, который говорит, происходит ли при сжатии потеря данных или нет.

**Последовательность обработки данных.** Этот критерий определяет, однопроходным или многопроходным является конкретный алгоритм.

**Непрерывность** определяет, в каком режиме работает реализация алгоритма: непрерывном или пакетном. Непрерывный режим обеспечивает лучшие коэффициенты сжатия, но задержка получения информации при этом больше, чем в пакетном режиме.

Основными критериями для сравнения характеристик конкретных реализаций методов сжатия являются:

- степень сжатия или отношение объемов исходного и результирующего потоков;
- скорость сжатия - время, затрачиваемое на сжатие некоторого объема информации, ведь внесение излишних задержек нежелательно, а порой недопустимо;
- качество сжатия - величина, показывающая, на сколько сильно упакован выходной поток, при помощи применения к нему повторного сжатия по этому же или иному алгоритму.



УДК 519.85

Маг. Д.В. Семидоцкий

Науч. рук. проф. В.С. Кудряшов

(кафедра информационных управляющих систем, ВГУИТ, Воронеж, РФ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ РОБАСТНОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА АММИАКА ПРИ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

Большинство объектов управления пищевой и химической технологии являются многосвязными и нестационарными. Управление такими процессами с применением принципов автономного управления требует постоянной перенастройки управляющей части системы в силу изменения параметров модели объекта в процессе эксплуатации, а это в свою очередь делает необходимым проведение текущей идентификации с использованием рекуррентных методов, что не всегда является возможным, тем более для объектов с взаимосвязанными параметрами. В этом случае применение принципов робастного управления обеспечивает гарантированное качество и требуемый запас устойчивости.

Рассмотрим решение задачи на примере регулирования температуры в четырехполочном реакторе синтеза аммиака (Рис.1,2).

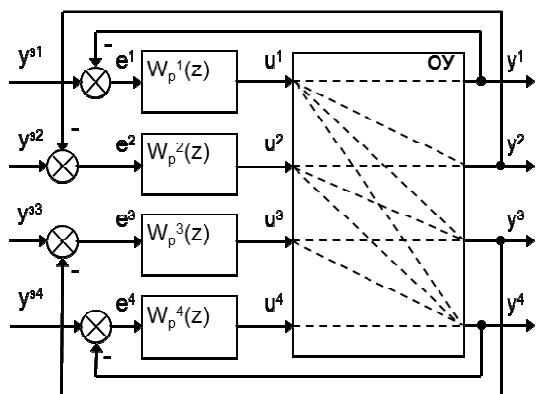


Рисунок 1 – Структурная схема цифровой системы управления процессом получения аммиака

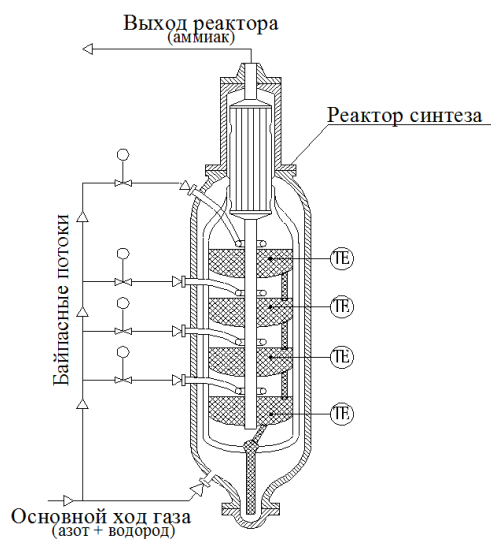
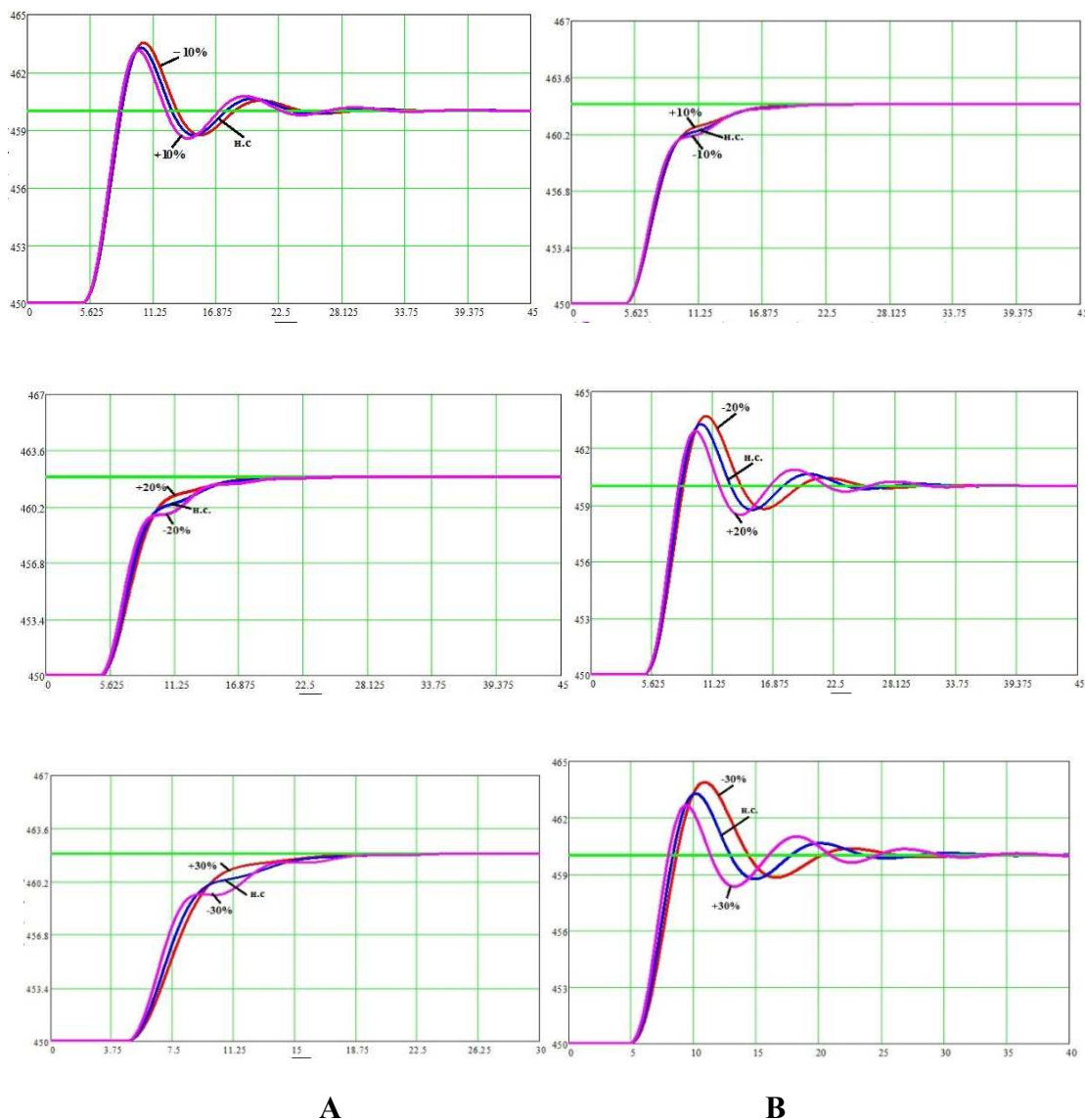


Рисунок 2 – Схема реактора синтеза аммиака

Проведены синтез и моделирование работы системы управления реактором по комплексному критерию, учитывающему интегральную квадратичную оценку и запас устойчивости, в условиях вариации параметров в пределах 30%-ого отклонения от номинального состояния с шагом в 10%.

Анализ динамических характеристик системы и позволяет сделать следующие выводы: с изменением (увеличением) параметров модели объекта увеличивается время регулирования и интегрально-квадратичная ошибка



**Рисунок 3 – Динамические характеристики: А-первого выхода, В-второго выхода системы**

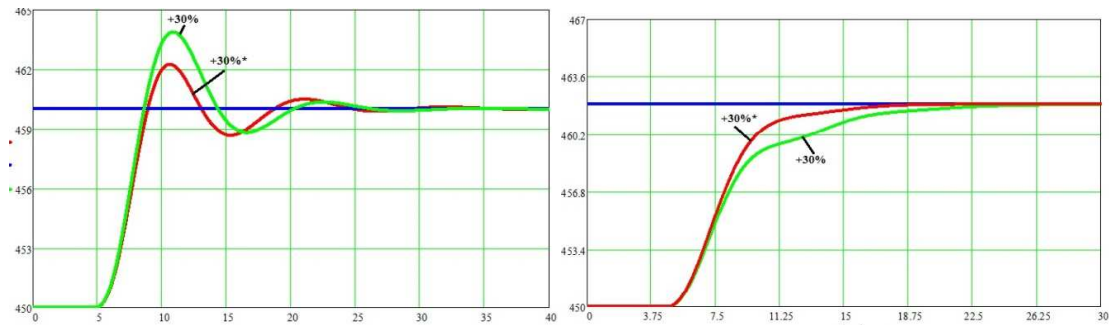
Произведен комплекс расчетов по оптимизации настроечных параметров ПИД-регуляторов по комплексному критерию:

$$S_3 = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^m e_{ij}^2 + \frac{\alpha_j}{\eta_j} \right);$$

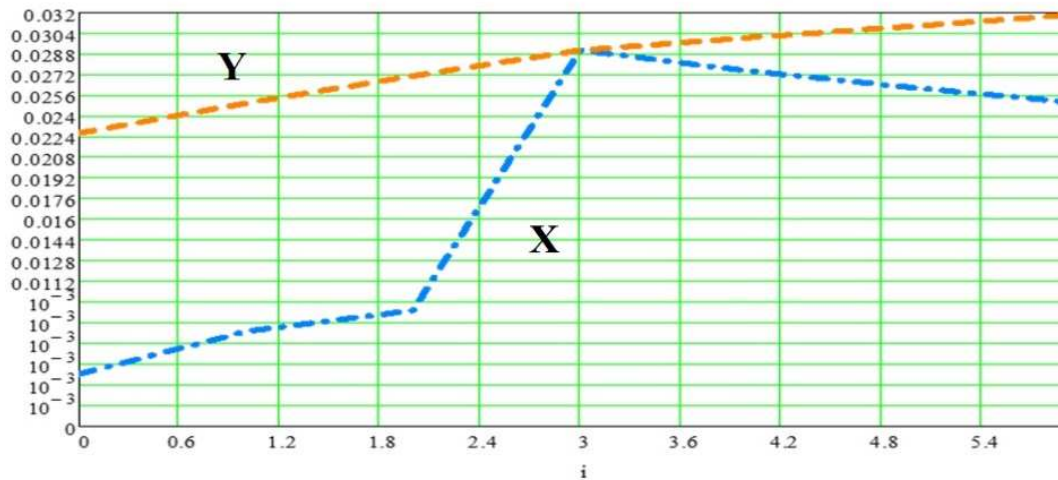
$$\eta_j = 1 - |\lambda_{max j}|.$$

где  $\lambda_{\max j}$  – максимальный корень характеристического полинома по каждому выходу системы;  $\alpha$  - весовой коэффициент;  $\eta$  - запас устойчивости;  $n$  - выходов;  $m$  - количество дискретных точек переходного процесса.

Для сравнения эффективности оптимизации приведен пример динамических характеристик системы по 1-му и 2-му выходам с увеличением начальных параметров модели объекта на 30% с пересчетом настроек регуляторов и без.



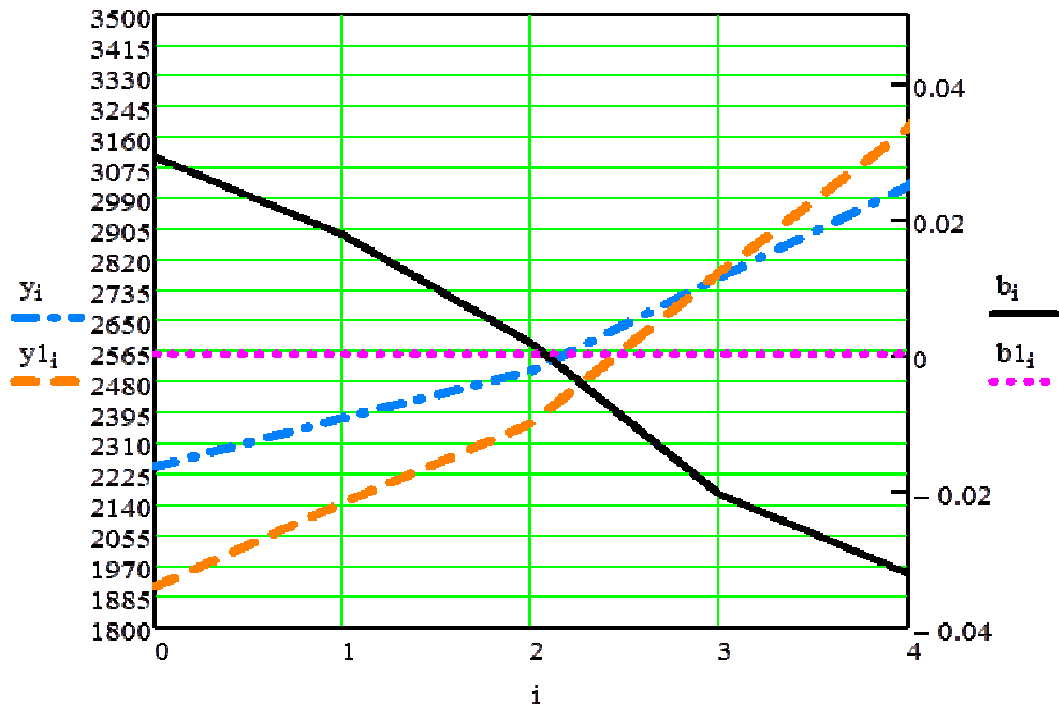
**Рисунок 4 – Сравнение динамических характеристик системы по 2-му и 1-му выходу системы с увеличением начальных параметров модели объекта на 30% с пересчетом настроек регуляторов и без**



**Рисунок 5 – Запас устойчивости системы с пересчетом настроечных параметров регуляторов(Y) и без(X)**

Одной из важнейших задач синтеза системы является определение границы устойчивости. С этой целью проведены исследования

влияния увеличения транспортного запаздывания по каналам объекта на достижение неустойчивого состояния, результаты которых приведены в виде графиков зависимости запаса устойчивости и интегрально-квадратичной ошибки при увеличении запаздывания по каналам объекта.



**Рис. 6. Зависимость запаса устойчивости и интегрально-квадратичной ошибки по каналам при увеличении запаздывания по каналам объекта ( $b_{1i}$  - граница устойчивости)**

При этом следует отметить, что для настроек полученных при большем весовом коэффициенте комплексного критерия состояние устойчивости было потеряно при больших значениях транспортного запаздывания, то есть увеличение  $\alpha$  приводит к возрастанию запаса устойчивости.

УДК 621.311

Студ. К. М. Давлетшин; Александров

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСПОРТА (ИМПОРТА) ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Одной из важных проблем взаимодействия смежных энергосистем является разработка рациональных принципов тарифообразования по перетокам электроэнергии внутри каждой энергосистемы в составе энергообъединения, а также покупки электроэнергии от локальных источников и источников на возобновляемых энергоносителях. В настоящее время важной *проблемой* является определение рациональных режимов работы электроэнергетической системы в жестких условиях импорта электроэнергии из энергосистем Российской Федерации, Украины, а также на основании заключаемых контрактов, в которых оговаривается цена экспортных перетоков в Прибалтику. Причем принципы формирования договорной цены не устанавливаются (цена договорная) и она является коммерческой тайной, однако в реальных условиях поставок оговариваются правила корректировки договорной цены в зависимости от различных режимных и директивных условий.

Суть задачи состоит в том, что при известных генерирующих мощностях, топологии сети, ограничениях по пропускной способности (ПС) связей, требуемом уровне потребляемой мощности (нагрузки), определить реально покрываемую нагрузку в ОЭС. Если полученные величины потребляемой мощности меньше первоначально заданного требуемого уровня, ОЭС считается избыточной, а в противном случае – дефицитной. В результате решения данной задачи определяется нагрузка, покрываемая существующими генерирующими мощностями и ПС сетей.

Положения контракта включают такие пункты как: срок (месяц, число) и объем поставки; названия ЛЭП, по которым осуществляется поставка; график суточной непрерывной поставки и коэффициент неравномерности в рабочий и выходные дни, предельные отклонения от согласованного минимального и максимального объема поставки электроэнергии, стоимость поставленной в расчетном периоде электроэнергии; штрафные санкции за неисполнение своих обязательств каждой из участвующих сторон; недопуск реэкспорта электроэнергии со стороны Покупателя.

Тарифы на услуги по транзиту электрической энергии через энергосистему Беларуси на расчетный период рассчитываются исходя

из объема необходимой выручки, обеспечивающей компенсацию экономически обоснованных затрат на содержание и эксплуатацию транзитной сети.

Взаимоприемлемая величина стоимости определяется в результате двусторонних переговоров, приносящие равные относительные экономические выгоды для заинтересованных сторон.

Ожидаемый рост потребления электрической энергии и высокие цены на импортируемые энергоресурсы делают актуальным поиск путей обеспечения баланса мощности на перспективу и повышения эффективности энергетического производства. Действенным экономическим инструментом решения этой задачи является управление режимом спроса на электроэнергию на базе применения дифференцированных по зонам суток тарифов. При этом обеспечивается снижение необходимой установленной мощности электростанций энергосистемы и определенное снижение расхода топлива на них за счет выравнивания суточного графика электропотребления.

Экономическая заинтересованность потребителей в использовании позонных тарифов обеспечивается за счет снижения затрат на покупаемую электроэнергию вследствие перемещения электропотребления из пиковой зоны в базовую

$$\Delta C_{\pi} = (t_{\pi} - t_{б})\Delta \mathcal{E}, \text{ руб/период} \quad (1)$$

где  $t_{\pi}$ ,  $t_{б}$  – ставки за 1 кВт/ч соответственно в пиковой и базовой временных зонах суточного графика электрической нагрузки;  $\Delta \mathcal{E}$  – величина электроэнергии, перемещаемой из пиковой зоны в базовую.

Если выравнивание режима электропотребления происходит за счет осуществления каких-либо мероприятий, требующих капитальных вложений, то эффективность их использования оценивается с помощью показателя эффективности, который должен сравниваться с некоторым нормативным показателем  $E_H$ . Если финансирование будет осуществляться за счет собственных средств предприятия, то оно будет выгодно для него в том случае, если приведет к повышению уровня рентабельности ( $E > K_{\text{рен}}$ ). Если же источником финансирования являются заемные средства в виде кредита банка, то мероприятие выгодно; когда за счет годовой экономии, определяемой с помощью формулы (1), обеспечивается возврат этих средств вместе с процентами за установленный срок кредитования.

Выравнивание режима всегда будет выгодно для потребителя, если оно не требует каких-либо капиталоемких мероприятий на его осуществление.

Но снижение платы за потребленную электроэнергию приводит к сокращению денежных поступлений в энергосистему, и в результате

ухудшаются экономические показатели ее работы. Однако выравнивание режима сопровождается снижением расхода топлива на электростанциях, их необходимой суммарной установленной мощности и количества остановов и пусков основного оборудования в период ночного провала нагрузки.

Экономия топлива обуславливается тем, что в период пика к покрытию нагрузки подключаются наименее экономичные агрегаты энергосистемы (конденсационные агрегаты на докритических параметрах пара, конденсационные мощности ТЭЦ). В базовой же зоне работают более экономичные агрегаты (оборудование на закритических параметрах пара). Эту слагаемую экономии можно представить в виде

$$\Delta C_{\text{эс}} = (\Pi_{\text{т}}^{\text{п}} b_{\text{т}}^{\text{п}} - \Pi_{\text{т}}^{\text{б}} b_{\text{т}}^{\text{б}}) \Delta \mathcal{E}, \text{ руб./период}, \quad (2)$$

где  $\Pi_{\text{т}}^{\text{п}}$ ,  $\Pi_{\text{т}}^{\text{б}}$  – цена топлива, используемого на пиковых и базовых агрегатах;  $b_{\text{т}}^{\text{п}}$ ,  $b_{\text{т}}^{\text{б}}$  – удельные расходы топлива на указанных агрегатах.

Экономия, обусловливаемая облегчением прохождения агрегатами электростанций ночного минимума электрической нагрузки, выражается снижением затрат топлива на пуски и остановки оборудования и повышением надежности его работы. Количественная оценка этой экономии затруднительна, может быть дана лишь экспертная оценка ее на основе анализа статистики пусков и остановов по станциям конкретной энергосистемы.

В том случае, когда в энергосистеме с целью облегчения прохождения ночного минимума электрической нагрузки применяется разгрузка теплофикационных агрегатов ТЭЦ по теплу с последующей передачей отпуска тепла на энергетические котлы через РОУ, при выравнивании режима снижается необходимость в такой разгрузке, что приводит к экономии топлива

$$\Delta C_{\text{эс}}'' = (\Pi_{\text{т}}^{\text{п}} b_{\text{т}}^{\text{п}} - \Pi_{\text{т}}^{\text{б}} b_{\text{т}}^{\text{б}}) \Delta \mathcal{E}, \quad (3)$$

где  $b_{\text{т}}^{\text{т}}$  – удельный прирост топлива на теплофикационную выработку электроэнергии.

Годовой эффект, обусловленный снижением необходимой установленной мощности электростанций энергосистемы на  $\Delta P$ ,

$$\Delta C_{\text{эс}}''' = \alpha K_{\text{т}}^{\text{п}} \Delta P, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – процентная ставка на капитал.

Таким образом, при снижении совмещенного максимума нагрузки на величину  $\Delta P$  либо отпадает необходимость ввода соответствующей мощности в энергосистеме при ее развитии, либо появление свободной мощности  $\Delta P$  дает возможность подключить новый потребитель энергии к сети.

Надо заметить, что эффекты, определяемые по формулам (2) и

(3), проявляются не одновременно, а несовместимо, т. е. либо тот, либо другой. Чтобы выяснить, из какого эффекта надо исходить, следует проанализировать режим работы энергосистемы в период ночного спада электрической нагрузки. Если имеет место разгрузка ТЭЦ по теплофикационной электрической мощности, то следует воспользоваться формулой (3), в противном случае – (2).

Если ориентироваться на (2), то условие выгодности для энергосистемы применения позонных тарифов может быть записано в виде

$$(\alpha_{\Gamma}^{\text{п}} b_{\gamma}^{\text{п}} - \alpha_{\Gamma}^{\text{б}} b_{\gamma}^{\text{б}}) \Delta \mathcal{E} + \alpha K_{\gamma}^{\text{п}} \Delta P + C_{\text{по}} > (t_{\text{п}} - t_{\text{б}}) \Delta \mathcal{E}, \quad (5)$$

где –  $C_{\text{по}}$  – годовой эффект от снижения количества пусков и остановок оборудования электростанций.

В качестве одного из основных критериев оценки рационального использования топливно-энергетических ресурсов на всех стадиях производства и совершенствования технических процессов выступают оптимальные удельные нормы энергопотребления, которые являются производными от технологического процесса – его производительности и энергетических показателей. Разработка оптимальных удельных норм является важным фактором повышения производительности труда, снижения себестоимости продукции, обновления технологий. Планирование норм рационального расхода энергоресурсов выполняется на основе официального документа, изданного Комитетом энергосбережения с учетом определения оптимальной технологии с наибольшей производительностью труда, меньшими затратами, высокой степенью автоматизации, экологической безопасности и т.д. Если расчет ведется для суточного графика нагрузки, то  $h_{\text{п}}$  выражает число часов использования мощности за одни сутки. При этом предпоследнее слагаемое в (5) должно быть разделено на 365 (число суток в году), так как коэффициент,  $\alpha$  выражает эффективность для годового периода. Последнее слагаемое также должно быть приведено к суточному периоду. При введении, кроме базовой и пиковой ставок, также и полупиковой, для последней может быть записано следующее выражение:

$$t_{\text{пп}} = t_{\text{б}} + \frac{\alpha_{\Gamma}^{\text{пп}} b_{\gamma}^{\text{пп}}}{\alpha_{\Gamma}^{\text{п}} b_{\gamma}^{\text{п}}} - \frac{\alpha_{\Gamma}^{\text{б}} b_{\gamma}^{\text{б}}}{\alpha_{\Gamma}^{\text{п}} b_{\gamma}^{\text{п}}}, \quad (6)$$

Переход к позонным тарифам не должен приводить к ухудшению экономических показателей энергосистемы. Это условие записывается в виде

$$t_{\text{б}} \mathcal{E}_{\text{б}} + t_{\text{пп}} \mathcal{E}_{\text{пп}} + t_{\text{п}} \mathcal{E}_{\text{п}} = t_{\text{ср}} \mathcal{E}, \quad (7)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{б}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{п}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{пп}}$  – величины потребляемой электроэнергии в соответствующих временных зонах;  $\mathcal{E}$  – средневзвешенный тариф в энергосистеме.

При этом  $\mathcal{E}_{\text{б}} + \mathcal{E}_{\text{п}} + \mathcal{E}_{\text{пп}} = \mathcal{E}$ . Если обозначить  $\mathcal{E}_{\text{б}} = \alpha_{\text{б}} \mathcal{E}$ ;  $\mathcal{E}_{\text{пп}} = \alpha_{\text{пп}} \mathcal{E}$ ;



$\Delta_n = \alpha_n \Delta$ , то уравнение (7) может быть представлено в виде

$$\alpha_0 \Delta_0 + \alpha_{пп} \Delta_{пп} + \alpha_n \Delta_n = \alpha_{ср}, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – удельные веса потребления электроэнергии в соответствующих временных зонах.

Очевидно, величины ставок и соотношения между ними зависят от значений исходных стоимостных характеристик (цена топлива, удельная стоимость электростанций), удельных приростов топлива в различных временных зонах и от принятой продолжительности этих зон.

УДК 519.6

Маг. Е.П. Гончаров

Науч. рук. проф. В.С. Кудряшов

(кафедра информационных управляющих систем, ВГУИТ, Воронеж, РФ)

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ ЭТИЛБЕНЗОЛА ПО МОДЕЛИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ**

Задачей процесса ректификации является выделение этилбензола из реакционной смеси после установки дегидрирования. На его чистоту влияют возмущающие воздействия: расход, температура и состав исходной смеси, давление в колонне ректификации и параметры тепло- и хладоносителей.

Для формализации цели управления процессом с использованием математической модели предлагается критерий:

$$K = A_1 X_{0,б} + A_2 X_{N+1,эм} \rightarrow \min_{R, T_0},$$

где  $X_{0,б}$ ,  $X_{N+1,эм}$  – концентрации бензола в кубе и этилбензола в дистилляте;  $A_1$ ,  $A_2$  – весовые коэффициенты;  $R$ ,  $T_0$  – расход флегмы и температура в кубе колонны (управляющие параметры).

Оптимизация процесса заключается в минимизации критерия. К по математической модели. В качестве управляющих параметров предлагается использовать расход флегмы и температуру в кубе колонны через расход теплоносителя.

Математическое описание статики процесса ректификации основано на уравнениях материальных балансов [1] колонны в целом:

$$F = D + W,$$

$$V_N = R + D,$$

расхода пара и жидкости в отдельных секциях колонны:

$$V_i = R + D, \quad 0 \leq i \leq N,$$

$$L_i = R, \quad NF < i \leq N + 1,$$

$$L_i = R + F, \quad 1 \leq i \leq NF,$$

$$L_0 = W = F - D, \quad i = 0,$$

и каждой контактной ступени по каждому компоненту разделяемой смеси, включая куб и дефлегматор. В таблице 1 материальные балансы контактной ступени, где  $V_i, L_i$  – расход пара и жидкости, уходящие с  $i$ -ой тарелки колонны;  $F, R, D, W$  – расходы сырья, флегмы, дистиллята и кубового продукта;  $X_{i,j}, Y_{i,j}$  – концентрации  $j$ -го компонента в жидкой и газовой фазах, отходящие с  $i$ -ой тарелки;  $N, NF$  – число тарелок в колонне и номер тарелки подачи сырья.

**Таблица 1. Уравнения материальных балансов каждой контактной ступени по каждому компоненту разделяемой смеси**

$L_1 X_{1,j} - V_0 Y_{0,j} - W X_{0,j} = 0$	0
$L_{i+1} X_{i+1,j} + V_{i-1} Y_{i-1,j} - L_i X_{i,j} - V_i Y_{i,j} = 0$	1
$L_{i+1} X_{i+1,j} + V_{i-1} Y_{i-1,j} - L_i X_{i,j} - V_i Y_{i,j} = 0$	2
...	...
$L_{i+1} X_{i+1,j} + V_{i-1} Y_{i-1,j} - L_i X_{i,j} - V_i Y_{i,j} = 0$	$i$
...	...
$L_{NF+1} X_{NF+1,j} + V_{NF-1} Y_{NF-1,j} - L_{NF} X_{NF,j} - V_{NF} Y_{NF,j} = -F$	$NF$
...	...
$L_{N+1} X_{N+1,j} + V_{N-1} Y_{N-1,j} - L_N X_{N,j} - V_N Y_{N,j} = 0$	$N$
$V_N Y_{N,j} - L_{N+1} X_{N+1,j} - D X_{N+1,j} = 0$	$N + 1$

Фазовое равновесие систем жидкость-газ определяется уравнением Генри:

$$K_{i,j} = a_{i,j} / \sum_{j=1}^k a_{i,j} X_{i,j}, \quad i = \overline{0, N}, \quad j = \overline{1, k}$$

где  $a_{i,j}$  – коэффициент относительной летучести  $j$ -го компонента;  $k$  – число компонентов разделяемой смеси.

В результате моделирования рассчитывается профиль концентраций компонентов по высоте колонны.

Задача оптимизации заключается в нахождении таких значений управляющих параметров, которые обеспечивают минимум выбранного критерия. Поиск минимума критерия осуществляется по математической модели с использованием численного метода оптимизации – градиентного.

На первом этапе находим значения производных критерия по каждому из управляющих параметров:

$$\frac{\partial K}{\partial u} = (K(u + \xi u) - K(u)) / \xi u$$

где  $u$  – вектор управления;  $\xi=0,001$ .

На втором этапе осуществляется шаг по каждому управляющему параметру в сторону убывания критерия:

$$u^{k+1} = u^k - H^k \frac{\partial K^k}{\partial u} / \nabla^k$$

где  $\nabla^k$  – норма градиента;  $H^k$  – переменный коэффициент шага;  $k$  – номер итерации.

Норма градиента и коэффициент шага рассчитываются по формулам:

$$\nabla^k = \sqrt{\sum_{l=1}^2 \left( \frac{\partial K^l}{\partial u} \right)^2}$$

$$H^k = \begin{cases} K_1 H^{k-1}, & \frac{\partial K^k}{\partial u} \frac{\partial K^{k-1}}{\partial u} > 0 \\ K_2 H^{k-1}, & \frac{\partial K^k}{\partial u} \frac{\partial K^{k-1}}{\partial u} < 0 \end{cases}$$

где  $1 < K_1 < 2$ ;  $0 < K_2 < 1$ .

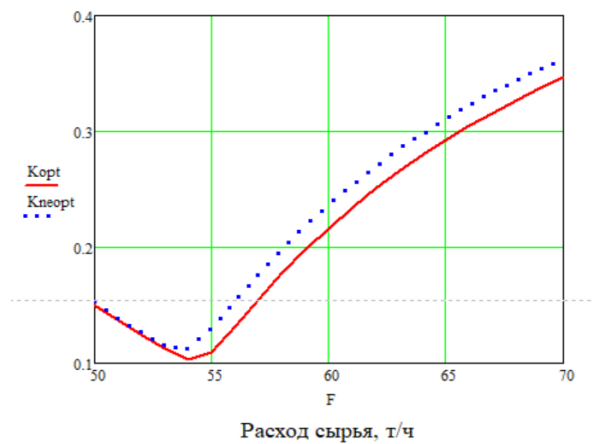
На каждой итерации проводится проверка управления на установленные границы:  $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$ . Если условие не выполняется, управляющим параметрам присваиваются граничные значения из заданного диапазона.

Расчёт оптимальных значений заканчивается, когда выполнится условие:

$$\nabla^k < \varepsilon,$$

где  $\varepsilon = 0,001$ .

Для сравнения значения критерия по результатам оптимизации приводятся графики при оптимальных и неоптимальных значениях управляющих параметров в диапазоне изменения нагрузки на колонну.



**Рисунок 1 – Сравнение значений критерия при оптимальных и неоптимальных управляющих параметрах**

Как видно из графика на рис. 1, при расчёте модели с оптимальными значениями управляющих параметров значения критерия ниже, чем при расчёте с неоптимизированными параметрами, а, следовательно, минимизируются потери целевых компонентов разделения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кудряшов В.С., Алексеев М.В. Моделирование систем: учеб. пос. для студ. техвузов. Воронеж: ВГУИТ, 2012. 208 с.

УДК 681.5

Студ. В.Л.Алексеев, Е.Е. Лаврусик  
Науч. рук. доц. И.Ф. Кузмицкий, доц. Д.А. Гринюк  
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

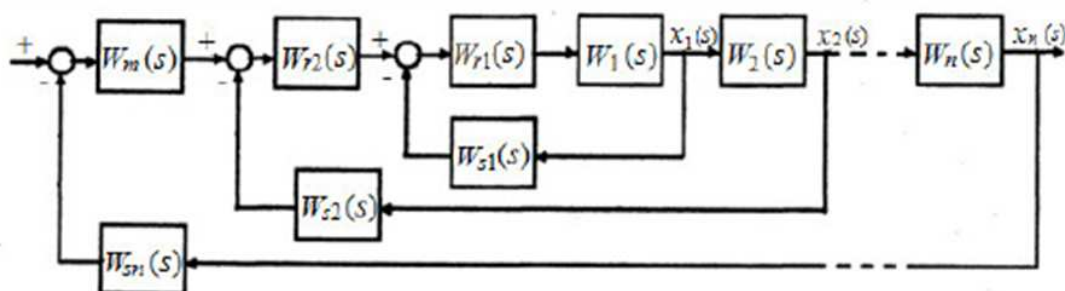
### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ПОДЧИНЁННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И САМООРГАНИЗАЦИИ**

Разработка способа совершенствования систем управления электроприводами на основе принципов подчиненного регулирования и самоорганизации имеет важное практическое значение. Метод подчиненного регулирования синтеза многоконтурных систем автоматического управления электроприводами имеет большое значение для теории и практики электроприводов постоянного и переменного тока. Разработанный еще в 50-х гг. XX в. сотрудником фирмы «Siemens» С. Kessler [1], этот метод в том или ином виде до сих пор применяется в большинстве реальных систем управления электроприводами. Подтверждено реальным опытом, что наиболее эффективным и перспективным направлением развития электропривода является использование регулируемого электропривода и развитие систем автоматизации. Новый этап развития науки об управлении сложными объектами, к которым относятся электроприводы, будет проходить успешно при одновременном развитии алгоритмического и программного обеспечения, элементной базы, аппаратных средств, измерительных комплексов.

Основные затраты при разработке систем управления современными электроприводами приходится не на создание аппаратной части контроллера, а на разработку алгоритмического и программного обеспечения. В последние годы появились новые фундаментальные направления в теории и технике управления. К таким направлениям

можно отнести физическую теорию управления, синергетический подход к проблемам управления, оптимизацию систем с прогнозируемой моделью, теорию самоорганизующихся регуляторов с экстраполяцией (СОРЭ), теорию нечетких и нейросетевых систем управления и др.

Обратимся к методу подчиненного регулирования. Структурная схема многоконтурной системы подчиненного регулирования представлена на рис. 1;



**Рисунок 1 – Структурная схема многоконтурной системы подчиненного регулирования:  $W_n(s)$  - передаточная функция (ПФ)  $n$ -объекта:  $W_1(s)$  - ПФ 1-го объекта:  $W_2(s)$  - ПФ 2-го объекта:  $W_n(s)$  - ПФ  $n$ -го объекта:  $W_{r1}(s)$  - ПФ 1-го регулятора;  $W_2(s)$  - ПФ 2-го регулятора;  $W_{s1}(s)$  – ПФ 1-го датчика;  $W_{s2}(s)$  – ПФ 2-го датчика:  $W_{sn}(s)$  - ПФ  $n$ -го датчика**

Структура многоконтурной системы, как известно, формируется по следующим правилам[1, 4]: объект регулирования разбивается на ряд динамических звеньев таким образом, чтобы выходными переменными всех звеньев были физические величины, представляющие интерес с позиций автоматического регулирования.

Построение структурной схемы системы начинается с самого внутреннего контура, включающего в себя некомпенсируемую часть объекта и следующее за ним типовое звено компенсируемой части. Для выходной переменной первого компенсируемого звена строится замкнутый контур регулирования с последовательным корректирующим звеном – регулятором. Затем по порядку замыкаются контуры регулирования для выходных переменных всех последующих звеньев компенсируемой части объекта – каждый со своим регулятором, при этом обратные связи не перекрещиваются, а регуляторы соединяются последовательно так, что выходной сигнал регулятора каждого внешнего контура является задающим воздействием для внутреннего. Определение типа и расчет параметров регулятора в каждом из контуров осуществляется также последовательно, начиная с самого внутреннего, в со-

ответствии со стандартными настройками. Для синтеза последовательных корректирующих звеньев в простейших линеаризованных контурах регулирования, где компенсируемая часть объекта управления представляет собой одно из перечисленных выше инерционных типовых звеньев, используются хорошо себя зарекомендовавшие на практике модели желаемой динамики, называемые «модульный» и «симметричный оптимум». Основной особенностью подчиненного регулирования является то, что каждый контур имеет помимо обратной связи еще и регулятор – получается комбинированная коррекция (последовательная (регулятор) и параллельная (обратная связь)), т. е. несколько одноконтурных систем регулирования и внутренние контуры подчиняются внешним (отсюда и название метода.)

Следовательно, метод подчиненного регулирования имеет определенные ограничения, связанные прежде всего с использованием линеаризованных моделей объектов, видом структурных схем и применяемой их декомпозицией, используемыми стандартными настройками. Вследствие этого современная практика нуждается не только в алгоритмах систем управления электроприводами с настройками на модульный (технический) и симметричный оптимумы, но и в адаптивных оптимальных алгоритмах автоматического управления и обработки информации. Автоматизированные электроприводы с адаптивными свойствами позволяют существенно расширить диапазоны условий применения электроприводов и повысить их эффективность.

Из всех известных методов синтеза адаптивных оптимальных управлений наиболее эффективными в практическом применении к сложным нелинейным системам являются методы теории самоорганизующихся адаптивных регуляторов (АР) с экстраполяцией [2, 3]. Самоорганизующийся АР приспосабливается достаточно быстро к самым различным объектам, включая нестационарные и нелинейные. Для адаптивных регуляторов традиционных классов это недоступно. Главное отличие новых АР от традиционных заключается в том, что осуществляется оптимизация на коротком интервале времени (оптимизация на очередной малый цикл или несколько таких циклов). Такая оптимизация делает поведение объекта предсказуемым посредством универсального способа экстраполяции. Границы применимости нового класса АР еще не определены, но есть основание считать, что они широкие. Экстраполяция наиболее важных сигналов и оценивание производных позволит применять самоорганизующиеся наблюдатели для диагностики, реконфигурации, сигнализации, идентификации.

В работе [5] предложены подход и методика синтеза адаптивной на принципах самоорганизации одноконтурной системы управления

электроприводом. Утверждается, что такая адаптивная система имеет возможность быстрой самоорганизации контуров управления в условиях аварийных нештатных ситуаций.

Таким образом, основной особенностью правила формирования структуры системы подчиненного регулирования, как указано, является то, что каждый контур имеет, помимо обратной связи, еще и конкретный регулятор. Учитывая это правило формирования структуры многоконтурной системы методом подчиненного регулирования и возможности СОЭ, появляется возможность совместного использования принципов подчиненного регулирования и самоорганизации для синтеза многоконтурных систем управления с новыми адаптивными свойствами путем следующего правила формирования их структуры: регулятор последнего (внешнего) контура в системе подчиненного регулирования необходимо использовать только с самоорганизующимися алгоритмами, т. е. СОЭ (при этом все предыдущие внутренние контуры образуют обобщенный объект). Внутренние контуры могут быть трех типов:

– *первый тип* – контуры с регуляторами и их стандартными и другими настройками, применяемыми для ограничения переменных и т. д.;

– *второй тип* – контуры с произвольными нелинейными, нестационарными элементами и структурой;

– *третий тип* – с отдельными контурами, как с регуляторами и их стандартными настройками, так и с произвольными нелинейными, нестационарными элементами и структурой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Панкратов В. В. Автоматическое управление электроприводами. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. 200 с.

2. Красовский А. А. Адаптивный оптимальный регулятор с переменным порядком наблюдателя и временем экстраполяции // *АиТ*. 1994. № 11. С. 97–112.

3. Красовский А. А. Избранные труды. Самые ранние. Самые новые. М.: Наука, 2003. 614 с.

4. Шрейнер Р. Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов. Екатеринбург: РГППУ, 2008. 279 с.

5. Мин Хеин. Адаптивная, с высоким уровнем искусственного интеллекта, система управления судовым электроприводом // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология*. 2016. № 2. С. 95–101.

6. Туркин И. И., Быков Э. Б. Самоорганизующиеся системы

управления сложных технических объектов // Индустрия. 2005. № 1. С. 2–3.

7. Туркин И. И. Самоорганизующиеся системы управления сложными судовыми техническими средствами // Морские интеллектуальные технологии. 2008. № 1. С. 66–68.

8. Туркин И. И., Кирюхин С. Н. Экспериментальная проверка работоспособности и эффективности адаптивной на принципах самоорганизации системы автоматического управления // Материалы 23-й межвуз. науч.-техн. конф. «Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы», СПб: 2012. Ч. 3. С. 209–215.

УДК 681.5

Студ. В.Ю. Козловский, А. М. Шилин

Науч. рук. доц. Д.А. Гринюк, ст. преп. В.В. Лихавицкий  
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **ВАРИАНТЫ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ КОНТУРАМИ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

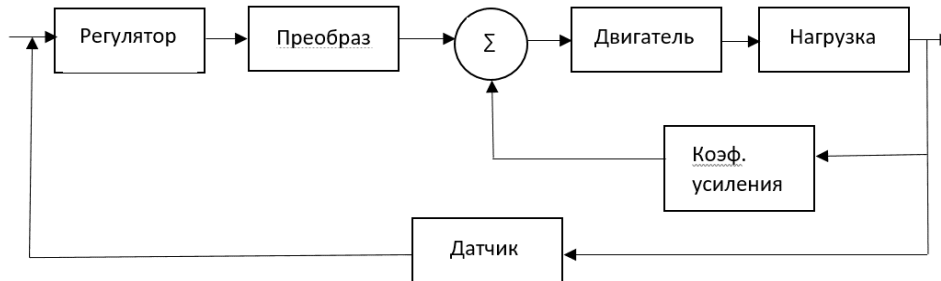
Назначение регуляторов электроприводов состоит в том, чтобы путем обеспечения выполнения требований к исполнительной электромеханической системе по точности, устойчивости и качеству переходных процессов достигнуть цели управления. Обстоятельствами, усложняющими выбор структуры и параметры регуляторов приводов электромеханических систем, являются наличием внешних и внутренних силовых воздействий и позиционных силовых связей, погрешности преобразователей информации, используемых для создания корректирующих обратных связей.

Одним из способов реализации средств коррекции электромеханических систем является использование принципа построения подчиненных контуров регулирования. В этом случае регулятор электропривода образуется из нескольких вложенных друг в друга контуров управления. Преимущество такого подхода состоит в том, что контуры регулирования можно настраивать по очереди: сначала внутренний, затем – внешний. Настроенный внутренний контур выступает в роли объекта управления для регулятора внешнего контура.

Чтобы обеспечить измерение скорости, тахометр, сигнал которого пропорционален скорости, устанавливается непосредственно на вал двигателя. Установленное значение  $\omega^*$  (желаемая скорость) непрерывно сравнивается с фактическим значением в системе управления. Определенная таким образом разность скоростей используется регулято-



ром скорости для регулирования ступени мощности преобразователя таким образом, что двигатель уменьшает разность контроллеров. Это представляет собой схему регулирования скорости замкнутого контура.



**Рисунок 1. Контур контроля скорости**

Контур скорости имеет более простую структуру и состоит из: передаточной функций датчика скорости и П либо ПИ регулятор.

Двигатель представлен здесь замкнутым контуром трех секций. Диаграмма имеет следующие значения:

$$\tau_e = \frac{L}{R} \quad (1)$$

$$R = R_M + R_C \quad (2)$$

$$L = L_M + L_C \quad (3)$$

$$J = J_M + J_L \quad (4)$$

$$K_{ME} = \frac{\omega_M}{E_M} \quad (5)$$

где  $\tau_e$  – электромагнитная постоянная времени,  $R_M$  – сопротивление двигателя,  $R_C$  – сопротивление преобразователя,  $L_M$  – индукция двигателя,  $L_C$  – индукция преобразователя,  $K_{ME}$  – коэффициент усиления по ЭДС,  $J_M$  – момент инерций двигателя,  $J_L$  – момент инерций нагрузки.

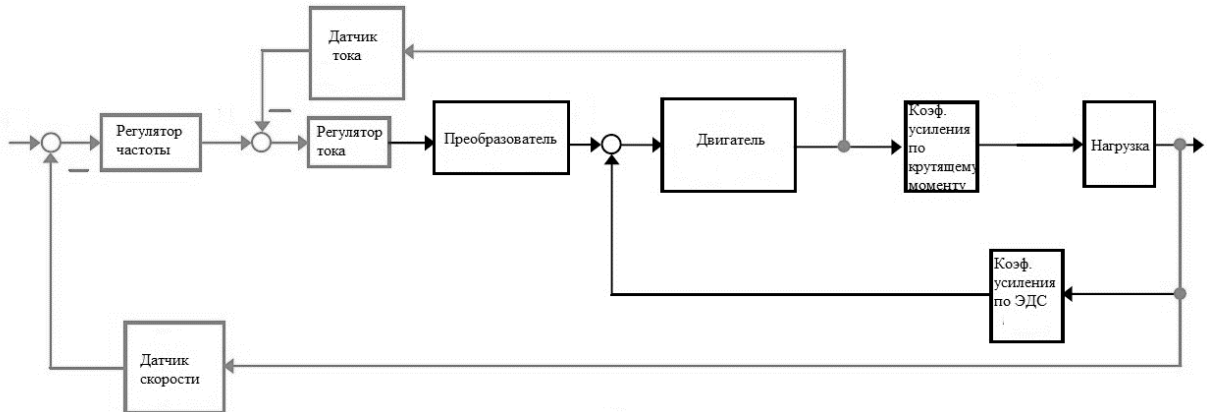
При передаточной функций объекта:

$$W_o(s) = \frac{k}{(\tau_\mu + 1)(\tau_1 * \tau_2 * s^2 + \tau_1 * s + 1)} \quad (6)$$

$$W_{r\omega}(s) = \frac{\tau_1}{(2 * \tau_\mu * k_0) \left(1 + \frac{1}{\tau_1 * s} + \tau_2 * s\right) \left(1 + \frac{1}{4 * \tau_\mu}\right)} \quad (7)$$

Поскольку одноконтурные электроприводы с переменной скоростью не контролируют крутящий момент, они могут удовлетворительно регулировать скорость только при постоянной нагрузке. Для неустойчивой загрузки многоконтурные системы подходят лучше. Блок-схема приводного двигателя с двухконтурным двигателем показана на

рисунке 2.



**Рисунок 2 – Двухконтурная система**

В этой каскадной системе внутренний контур управляет током, тогда как внешний контур управляет угловой частотой двигателя, то есть скоростью системы. Выходной сигнал от контроллера скорости служит в качестве уставки текущего контура. Контроллер тока сравнивает заданное значение и фактические значения и генерирует управляющие сигналы, которые направляются на коэффициент усиления управления преобразователя мощности. Токковая петля является самым внутренним контуром управления системой и поэтому должна реагировать очень быстро.

Передаточная функция токовой петли имеет следующий вид:

$$W_I(s) = \frac{\frac{1}{R} k_C k_I k_{ME} k_{MT} J R * s}{(\tau_\mu s + 1) (k_{ME} k_{MT} J R \tau_e s^2 + k_{ME} k_{MT} J R s + 1)} \quad (8)$$

Регулятор в этом случае:

$$W_{rI}(s) = \frac{R}{2(\tau_c + \tau_I) k_C k_I} s^{-1} \left( 1 + \frac{1}{k_{ME} k_{MT} J R s} + \tau_e s \right) \quad (9)$$

Передаточная функция петли скорости в данном случае принимает следующий вид:

$$W_o(s) = \frac{k_\omega}{J k_I k_{MT} s (2 * (\tau_c + \tau_I) + \tau_\omega + 1)} \quad (10)$$

Регулятор:

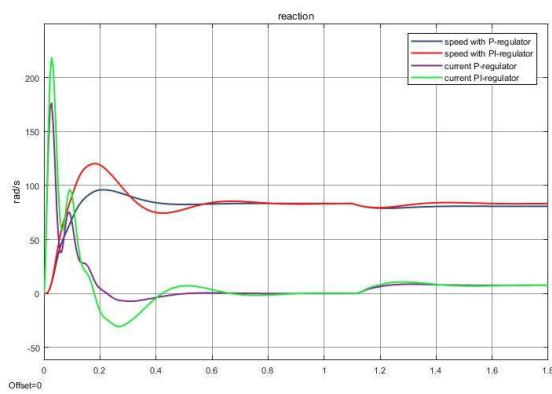
$$W_{r\omega}(s) = \frac{J k_I k_{MT}}{2 * (2 * (\tau_c + \tau_I) + \tau_\omega) k_\omega} \quad (11)$$

Зададимся некоторыми параметрами. Данные значения прибли-

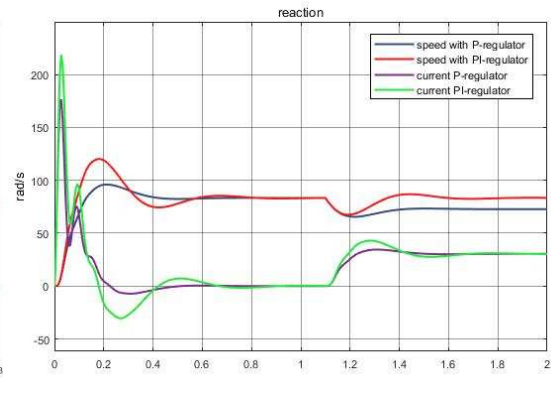
жены к реальным и хорошо отражают реакцию системы на заданное воздействие. Выходные графики при отсутствии ограничителя по току указаны на рисунках 2 и 3.

Красной и синей линией показаны скорости при ПИ и П регуляторах соответственно. Система с П регулятором имеет более высокое быстродействие и меньшее перерегулирование, что является плюсом системы, но при этих плюсах она все же проигрывает из-за уменьшения скорости при воздействиях момента сопротивления.

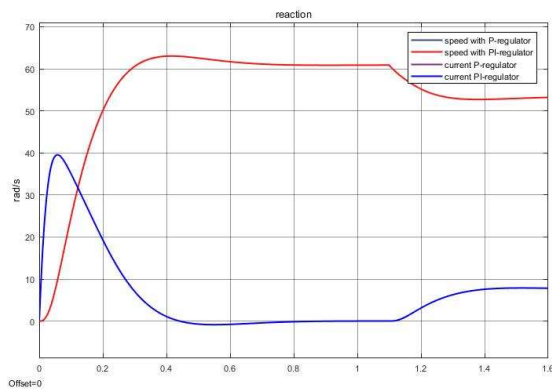
В реальных системах всегда имеется ограничение по току, исходя из этого: четко видно, что 2 возможных варианта подстановки регулятора полностью идентичны (рисунки 4 и 5).



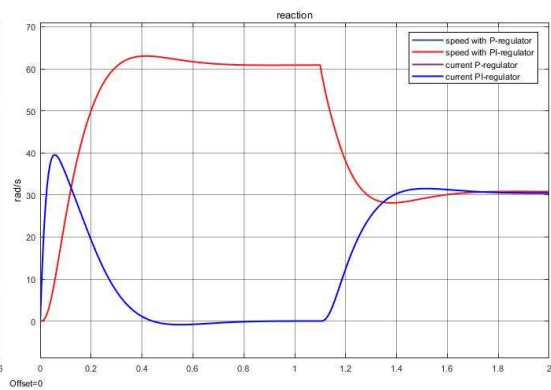
**Рисунок 2 – Выходные параметры при начальной нагрузке**



**Рисунок 3 – Выходные параметры при увеличенной нагрузке**



**Рисунок 6 – Выходные параметры при начальной нагрузке**



**Рисунок 7 – Выходные параметры при увеличенной нагрузке**

Системы подчиненного управления на сегодняшний день весьма актуальны поскольку не несут большой нагрузки на устройства анализа при этом увеличивают качество регулирования.

Как итог мы имеем следующее:

1) При использовании системы подчиненного управления с ПИ и ПИД регуляторами мы имеем малый выигрыш в быстродействии и не-много меньшие начальные токи, но при этом система плохо реагирует на изменение момента сопротивления.

2) При использовании системы подчиненного управления с ПИ и ПИД регуляторами мы имеем систему реагирующую на изменение параметров за счет чего рекомендуется использовать именно ее.

3) При использовании системы подчиненного управления с ПИ и ПИД или ПИ и ПИД, но при этом имея ограничение по максимально допустимому току двигателя, видно, что система имеющая более простую структура выигрывает за счет одинаковости реакций системы.

УДК 684.5

Студ. А.А. Василевич, А. Н. Павловец

Науч. рук. доц. И.Ф. Кузьмицкий, доц.Жарский С.Е.

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### МЕТОД ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА

*Функция Ляпунова* представляет собой скалярную функцию, заданную на фазовом пространстве системы, с помощью которой можно доказать устойчивость положения равновесия. *Метод функций Ляпунова* применяется для исследования устойчивости различных дифференциальных уравнений и систем. Ниже мы ограничимся рассмотрением автономных систем

$$X' = f(X) \quad \text{или} \quad \frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

имеющих нулевое положение равновесия  $X \equiv 0$ .

Предположим, что в некоторой окрестности  $U$  начала координат задана непрерывно дифференцируемая функция

$$V(X) = V(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Пусть  $V(X) > 0$  для всех  $X \in U \setminus \{0\}$ , а в начале координат  $V(0) = 0$ . Такими функциями являются, например, функции вида

$$V(x_1, x_2) = ax_1^2 + bx_2^2, \quad V(x_1, x_2) = ax_1^2 + bx_2^4, \quad a, b > 0.$$

Найдем полную производную функции  $V(X)$  по времени  $t$ :

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x_2} \frac{dx_2}{dt} + \dots + \frac{\partial V}{\partial x_n} \frac{dx_n}{dt}.$$

Это выражение можно записать в виде скалярного произведения двух векторов:

$$\frac{dV}{dt} = \left( \text{grad } V, \frac{dX}{dt} \right), \quad \text{где} \quad \text{grad } V = \left( \frac{\partial V}{\partial x_1}, \frac{\partial V}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial V}{\partial x_n} \right), \quad \frac{dX}{dt} = \left( \frac{dx_1}{dt}, \frac{dx_2}{dt}, \dots, \frac{dx_n}{dt} \right).$$

Здесь первый вектор представляет собой *градиент* функции  $V(X)$ , т.е. он всегда направлен в сторону наибольшего возрастания функции  $V(X)$ . Как правило, функция  $V(X)$  возрастает при удалении от начала координат, т.е. при условии  $|X| \rightarrow \infty$ . Второй вектор в скалярном произведении – это вектор скорости движения. В любой точке он направлен по касательной к фазовой траектории.

Рассмотрим случай, когда производная функции  $V(X)$  в окрестности  $U$  начала координат отрицательна:

$$\frac{dV}{dt} = \left( \text{grad } V, \frac{dX}{dt} \right) < 0.$$

Это означает, что угол  $\varphi$  между вектором градиента и вектором скорости больше  $90^\circ$ . Для функции двух переменных это схематически показано на рисунках 1 и 2.

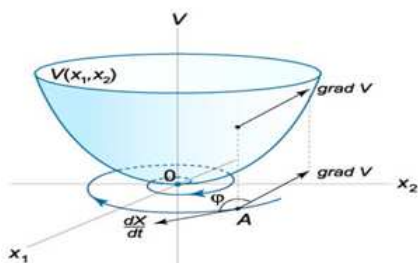


Рис.1

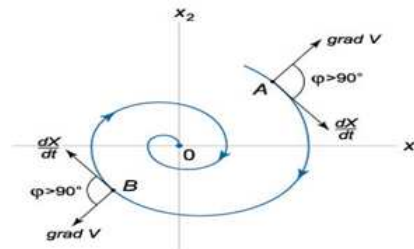


Рис.2

Очевидно, что если производная  $dV/dt$  вдоль фазовой траектории всюду отрицательная, то траектория движения стремится к началу координат, т.е. система является устойчивой. В противном случае, когда производная  $dV/dt$  положительна, траектория стремится от начала координат, т.е. система является неустойчивой.

Перейдем к строгим формулировкам.

Функция  $V(X)$ , непрерывно дифференцируемая в некоторой окрестности  $U$  начала координат, называется *функцией Ляпунова* автономной системы

$$X' = f(X),$$

если выполнены следующие условия:

1.  $V(X) > 0$  для всех  $X \in U \setminus \{0\}$ ;
2.  $V(0) = 0$ ;
3.  $dV/dt \leq 0$  для всех  $X \in U$ .

Пример. Исследовать на устойчивость нулевое решение системы

$$\frac{dx}{dt} = x^3 + y, \quad \frac{dy}{dt} = x + y^3.$$

*Решение.* Исходя из вида правых частей уравнений, можно заметить, что производные  $dx/dt$ ,  $dy/dt$  будут возрастать для точек в первом квадранте плоскости  $O_{xy}$  (при  $x > 0, y > 0$ ). Поэтому можно предполо-

жить, что система является неустойчивой. Для доказательства воспользуемся теоремой Четаева. Пусть функция  $V(\mathbf{X})$  имеет вид

$$V(\mathbf{X}) = V(x, y) = x^2 - y^2.$$

Эта функция является положительно определенной в подобласти  $U_1$ , в которой выполняется неравенство  $|x| > |y|$ . Вычислим производную  $dV/dt$  в силу данной системы и определим ее знак в подобласти  $U_1$ .

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial V}{\partial y} \frac{dy}{dt} = 2x(x^3 + y) - 2y(x + y^3) = 2x^4 + \cancel{2xy} - \cancel{2xy} - 2y^4 = 2(x^4 - y^4).$$

Видно, что производная  $dV/dt$  также является положительно определенной в подобласти  $U_1$ , определяемой соотношением  $|x| > |y|$ . Кроме того, функция  $V(\mathbf{X})$  равна нулю на границе области  $U_1$ , включая точку  $(0,0)$ . Таким образом, выполняются все условия теоремы Четаева. Следовательно, нулевое решение системы *неустойчиво*.

Вычислив собственные значения якобиана линеаризованной системы, можно убедиться, что нулевое положение равновесия является *седлом*:

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} \end{pmatrix} \Big|_{\substack{x=0 \\ y=0}} = \begin{pmatrix} 3x^2 & 1 \\ 1 & 3y^2 \end{pmatrix} \Big|_{\substack{x=0 \\ y=0}} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\det(J - \lambda I) = 0, \Rightarrow \begin{vmatrix} -\lambda & 1 \\ 1 & -\lambda \end{vmatrix} = 0, \Rightarrow \lambda^2 - 1 = 0, \Rightarrow \lambda^2 = 1, \Rightarrow \lambda_{1,2} = \pm 1.$$

УДК 338.2:004

Студ. С.А. Селиверстов

Науч. рук. доц. А.Н. Гаврилов

(кафедра информационных и управляющих систем, ФГБОУ ВО ВГУИТ)

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ НА МОЛОЧНОМ ЗАВОДЕ

Любое производство осуществляется в пространстве и во времени. При этом подходы в организации производства различны и зависят от многих составляющих. Каждое предприятие в условиях рыночной экономики самостоятельно разрабатывает принципы и суть своего производства. Основным механизмом здесь является планирование производственного процесса. Автоматизированное решение подобной задачи даёт возможность грамотно планировать, учитывать затраты, проводить техническую подготовку производства, оперативно управлять процессом выпуска продукции в соответствии с производственной программой и технологией. Очевидно, что чем крупнее производство, тем большее число процессов участвует в создании прибыли, а значит,

использование информационных систем жизненно необходимо.

Все более актуальным становится разработка новых систем автоматического управления, интеллектуальные системы на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяют с успехом решать проблемы идентификации, управления, прогнозирования и оптимизации.

Целью работы является разработка ИС планирования производства продукции на молочном заводе. В рамках данной цели были поставлены следующие задачи:

Математическое моделирование плана выпуска продукции;

Разработать алгоритм расчета выпуска продукции;

Разработать функциональные требования к ИС;

Разработать базу данных;

Разработать интерфейс пользователя ИС;

Разработать программное обеспечение ИС;

Анализ характеристик молочной продукции;

Для решения этих задач была разработана ИС планирования производства продукции на молочном заводе. Для ее создания использовался императивный, структурированный, объектно-ориентированный язык программирования Delphi 7.

Для решения задачи планирования, был применен Симплекс-метод. Это вычислительная процедура, основанная на принципе последовательного улучшения решения при переходе от одного базисного решения к другому, что позволяет минимизировать издержки производства и рассчитать прибыль и рентабельность.

Для определения оптимальных показателей производимой молочной продукции был разработан двухслойный персептрон. (Double-Layer Vector Perceptron, сокращенно DLVP). Он позволил решить проблему однослойного персептрона, заключающуюся в том, что ошибка даже одного выходного нейрона приводит к ошибочному распознаванию сети в целом. Предложенная модель является развитием однослойного векторного персептрона: добавлен дополнительный слой, аккумулирующий информацию, что позволило убрать ошибки и достичь поставленных целей.

Для хранения справочной информации и расчета показателей была разработана база данных. Для создания БД использовалась СУБД Access 2007.

При использовании ИС персонал предприятия оказывается вовлечен в процесс производственной деятельности, поскольку имеет возможность использовать систему в качестве имитационного и оптимизационного инструмента, эффективно планировать выпуск молочной продукции, а также определять качество производимой продукции. В

работе представлены физико-химические показатели молочной продукции, предложена схема информационной поддержки управленческих решений по производственной деятельности молочного предприятия. Такой подход к использованию ИС обеспечивает возможность максимальной интеграции ИТ и человеческого потенциала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Средства и системы управления технологическими процессами: учеб. пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков; — СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 376 с.

УДК 658.78:004

Студ. А.А. Селиверстов

Науч. рук. доц. А.Н. Гаврилов

(кафедра информационных и управляющих систем, ФГБОУ ВО ВГУИТ)

### **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ С ФИКСИРОВАННЫМ ИНТЕРВАЛОМ МЕЖДУ ЗАКАЗАМИ**

Политика управления запасами представляет собой часть общей политики управления оборотными активами предприятия, заключающейся в оптимизации общего размера и структуры запасов товарно-материальных ценностей, минимизации затрат по их обслуживанию и обеспечению эффективного контроля за их движением.

Функционирование логистических систем по управлению запасами - процесс многогранный, включающий в себя технико-технологические, экономические, организационные, информационные, финансовые и другие аспекты. Логистическая система управления запасами используется для оптимизации поставок запасов в пространстве и во времени. Она координирует движение запасов и гарантирует, что необходимые материалы будут предоставлены своевременно, в нужном месте, в требуемом количестве и желаемого качества. В результате сокращаются затраты на складирование и продолжительность нахождения капитала в запасах, что способствует ускорению его оборачиваемости и повышению эффективности функционирования предприятия.

Задача управления запасами возникает, когда необходимо создать запас материальных ресурсов или предметов потребления с целью удовлетворения спроса на заданном интервале времени (конечном или бесконечном). Для обеспечения непрерывного и эффективного функционирования практически любой организации необходимо создание запасов. В любой задаче управления запасами требуется определять



количество заказываемой продукции и сроки размещения заказа.

Целью данной работы было создание информационной системы управления запасами с фиксированным интервалом между заказами. Для ее достижения были поставлены следующие задачи:

- провести исследование предметной области;
- разработать математическую модель задачи управления запасами;
- разработать базу данных ИС ;
- разработать программное обеспечение информационной системы управления запасами.

Для решения этих задач была разработана ИС управления запасами с фиксированным интервалом времени между заказами. Для ее создания использовался императивный, структурированный, объектно-ориентированный язык программирования Delphi 7.

За основу была взята математическая модель управления запасами с фиксированным интервалом времени между заказами и доработана. Изменяемой величиной является размер заказа. Её главными достоинствами является то, что интервал времени между заказами требует лишь периодического контроля количества запаса. Определить интервал времени между заказами можно на основе учета размера заказа, принятого в качестве оптимального. Размер заказа рассчитывается таким образом, что при условии точного соответствия фактического потребления ожидаемому поставка пополняет запас на складе до максимально желаемого уровня. Разница максимального и текущего запаса определяет величину заказа, необходимую для восполнения запаса до максимально желательного уровня на момент расчета, а ожидаемое потребление за время выполнения заказа обеспечивает это восполнение в момент осуществления поставки. Уровень текущего запаса определяется на момент выдачи заказа по учетной информации о состоянии запаса на складе.

Для хранения необходимых данных была разработана База данных. В нее входит подробная информация о потребителях, заказах, продукции, работе склада. Для создания БД использовалась СУБД Access 2007.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Средства и системы управления технологическими процессами: учеб. пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков; — СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 376 с.
2. Попов, Сергей Delphi и 1С:Предприятие. Программирование информационного обмена / Сергей Попов. - М.: "БХВ-Петербург", 2007. - 592 с.

УДК 681.5

Студ. В.Д. Липай, А. Н. Давидович  
Научн. рук. доц. Д.А. Гринюк

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

**ПОВЫШЕНИЕ РОБАСНОСТИ (ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ)  
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ  
КАЧЕСТВА ДЛЯ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ**

ПИД регулятор был изобретён ещё в 1910 году. Пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор — устройство в управляющем контуре с обратной связью. Используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второе — интеграл сигнала рассогласования, третье — производная сигнала рассогласования. Если какие-то из составляющих не используются, то регулятор называют пропорционально-интегрирующим, пропорционально-дифференцирующим, и т.д.

Идеализированное уравнение ПИД-регулятора имеет вид

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{TI} \int e(t)dt + TD \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент передачи,  $TI$  – постоянная интегрирования;  $TD$  – постоянная дифференцирования.

Методы оценки качества процесса управления могут быть самыми различными, но определяются они в основном тремя факторами. Во-первых, они зависят от выбора критерия качества (когда систему считать «хорошей», а когда «плохой»); во-вторых, от исследуемого режима работы системы (в переходном режиме ошибки управления намного больше, чем в установившемся, а значит, и методы исследования должны быть разные); в- третьих, от характеристик воздействий. Рассмотрим два метода косвенных оценок.

Корневые оценки основаны на зависимости характера переходного процесса от распределения нулей и полюсов передаточной функции замкнутой системы.

Переходная характеристика может быть вычислена по формулам разложения:

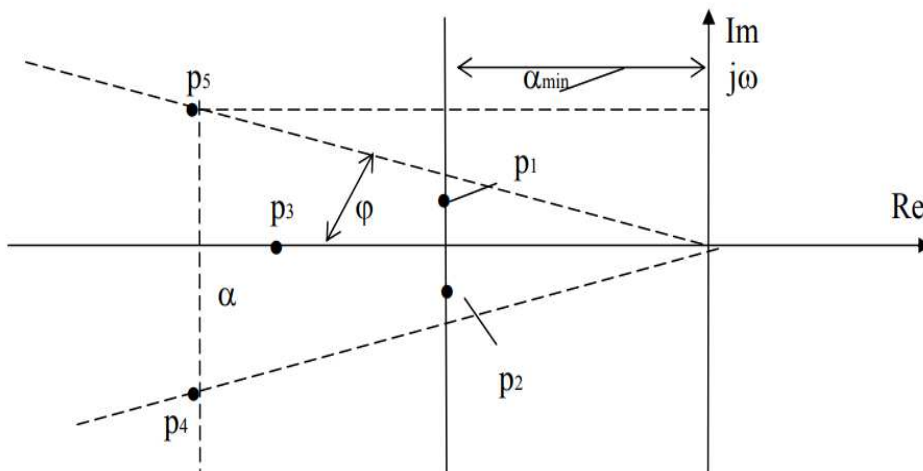
$$h(t) = \frac{K(0)}{D(0)} + \sum_{k=1}^n \frac{K(p_k)}{D(p_k)} e^{p_k t} \quad (2)$$

где  $p_k$  – корни (полюсы) характеристического уравнения замкнутой

системы  $D(p)=0$ ,  $n$  – число корней. Из выражения видно, что на характер  $h(t)$  влияют и числитель  $K(p)$ , и знаменатель  $D(p)$  передаточной функции. Однако, если числитель  $K(p)$  представляет собой постоянную величину, то оценка по корням характеристического уравнения допустима.

Для приближенной оценки качества надо на плоскости корней выделить ту область, в которой располагаются корни. О качестве переходного процесса приближенно можно судить по степени устойчивости  $\alpha_{\min}$ , под которой понимают расстояние от мнимой оси до ближайшего корня или ближайшей пары комплексных корней. Степень устойчивости характеризует предельное быстроедействие системы, так как вещественная часть корня  $\alpha_{\min}$  принадлежит той компоненте переходной характеристики, которая затухает медленнее всех остальных. Время переходного процесса  $t_{\text{пер}} \approx 3/\alpha_{\min}$ , если ближайший к мнимой оси корень – вещественный и не превосходит этого значения, если ближайшей к мнимой оси является пара комплексных корней. Под колебательностью системы  $\mu$  понимают

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi = \left( \frac{w}{a} \right)_{\max} \quad (3)$$



**Рисунок 1 – Пример распределения корней на комплексной плоскости**

Интегральные оценки качества представляют собой интегралы по времени (в пределах от 0 до  $\infty$ ) от некоторой функции управляемой переменной  $X(t)$  или сигнала ошибки  $\Delta X(t)$ .

$$I = \int_0^{\infty} f_0 |X(t), t| dt \quad (4)$$

Подынтегральная функция  $f_0$  выбирается т.о. ,чтобы интеграл лучше характеризовал качество системы. Чтобы интеграл был сходящимся, в функцию  $f_0$  вводят не абсолютное значение  $X(t)$ , а ее отклоне-

ние от установившихся значений.

В качестве еще одного интегрального критерия может выступать выражения [1]

$$S_{\min} = \int_0^{\infty} t^N |e| dt \rightarrow \min \quad (5)$$

где  $N = 0, 1, \dots$

Проследим влияние на запас устойчивости проектируемой системы. Объект имеет следующую передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{1}{T^2 p^2 + 2Tz p + 1} \quad (6)$$

где  $T$  – постоянная времени объекта,  $z$  – коэффициент.

Найдем настройки ПИ и ПИД-регуляторов путем минимизации с помощью MATLAB критерия (5) при разных значения  $N$ .

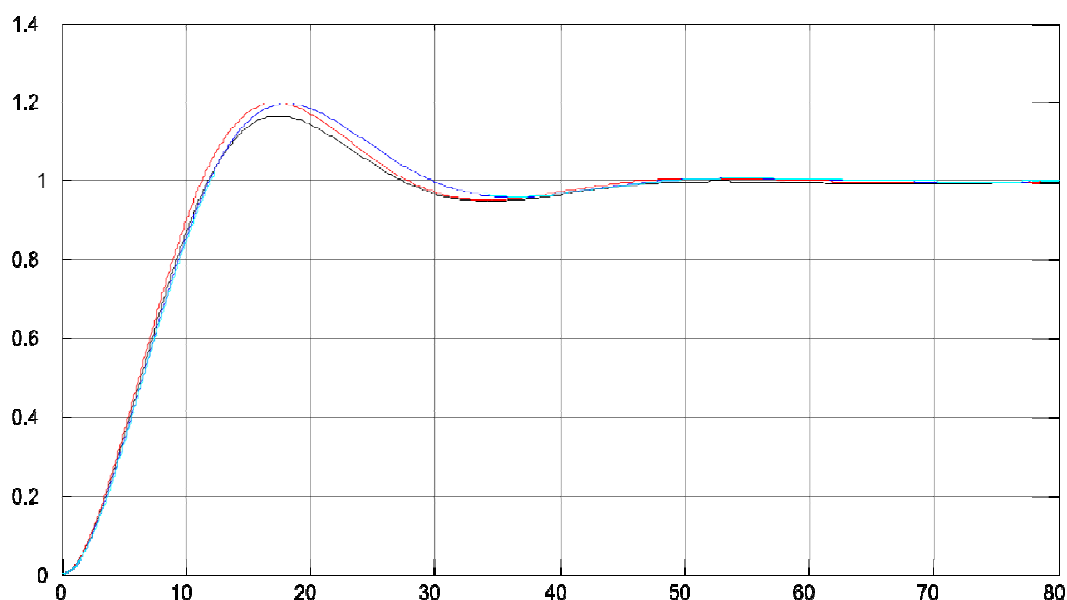
После оптимизации получим следующие значения:

Для ПИ-регулятора:

$T=19$  and  $z=2$ .  $K_p=14.6544$ ,  $t_i=4.8323$

**Таблица 3 – Корни**

N	0	1	2	3
Корни	-0.0995 – 0.1970i	-0.0923-0.1883i	-0.0982-0.176i	-0.0982-0.176i



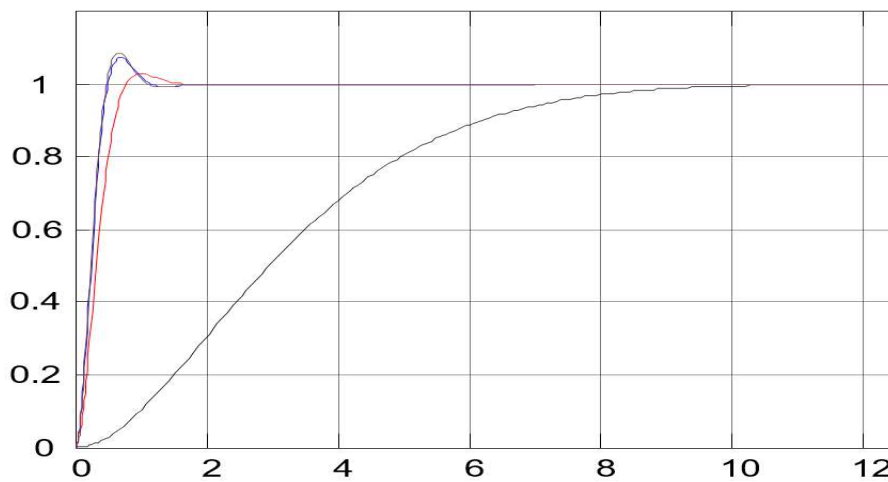
**Рисунок 5 – Переходная характеристика с ПИ-регулятором**

Для ПИД-регулятора:

$$T=19 \text{ and } z=2. K_p=1.1 \cdot 10^6, t_i=0.2842, t_d=3.144 \cdot 10^5$$

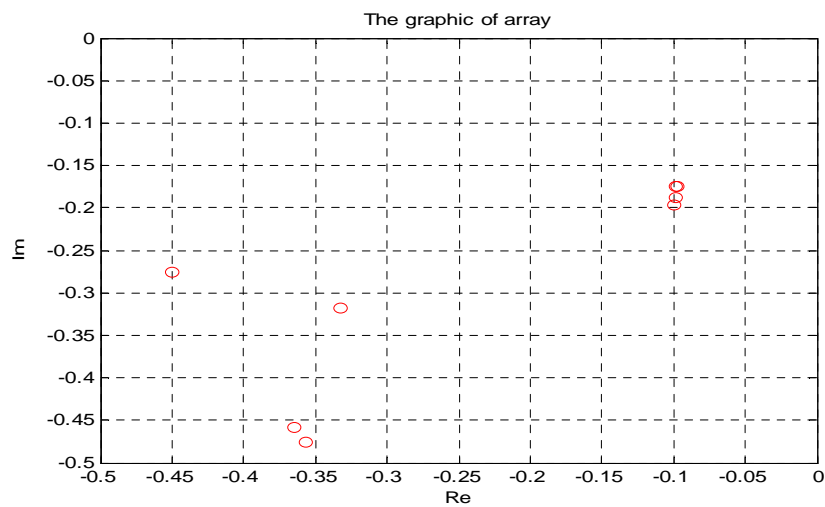
**Таблица 4 – Корни**

Степень критерия	0	1	2	3
Корни	-0.45-0.275i	-3.33-3.1813i	-3.65-4.61i	-3.56-4.746i



**Рисунок 6 – Переходная характеристика с ПИД-регулятором**

Теперь нанесем корни на комплексную плоскость



**Рисунок 7 – Расположение корней**

Анализ результатов показывает, что для вида системы, который был использован в работе, увеличение  $N$  приводит к уменьшению времени переходного процесса, перерегулирования, но также и уменьшает запас по устойчивости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д.А. Гринюк, И.О. Оробей, И.Г. Сухорукова. “Модификация интегральных критериев для повышения запаса по устойчивости” Труды БГТУ, №6, Физ.-мат. науки и информатике. 2012. С. 118-121

УДК 681.5

Студ. Р.Ч. Алешкевич, А.В. Фоменко

Научн. рук. доц. Д.А. Гринюк

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

#### **ПОВЫШЕНИЕ РОБАСНОСТИ (ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ)**

#### **ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ**

#### **КАЧЕСТВА ДЛЯ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ**

Качественная настройка промышленных регуляторов способствует повышению стабильности технологических параметров и уменьшает энергозатраты на единицу продукции. Это обусловлено уменьшением переходных процессов и критических отклонений. Практика обучения специалистов теории управления, а также большинство учебной литературы используют наблюдение за переходным процессом вследствие изменения сигнала задания для проверки качества регулирования. В тоже время большинство систем стабилизации технологических параметров предназначены для подавления возмущений в процессе функционирования. Иногда возникают задачи, при которых система подвергается частым возмущениям, как со стороны канала возмущения, так и ввиду частого изменения сигнала задания.

Одним из вариантов решения проблемы является использовать two-degree-of-freedom structure (2DoF) [1, 2]. Это предполагает два варианта реализации структуры (fig. 1 [3] или fig. 2). Несмотря на введение дополнительных подстроенных коэффициентов  $a$  and  $b$ , задачу поиска настроек регулятора можно легко разделить на два этапа: настройка основные коэффициенты  $K_P$ ,  $T_I$  and  $T_D$ , а затем поиск дополнительные коэффициенты  $a$  and  $b$ .

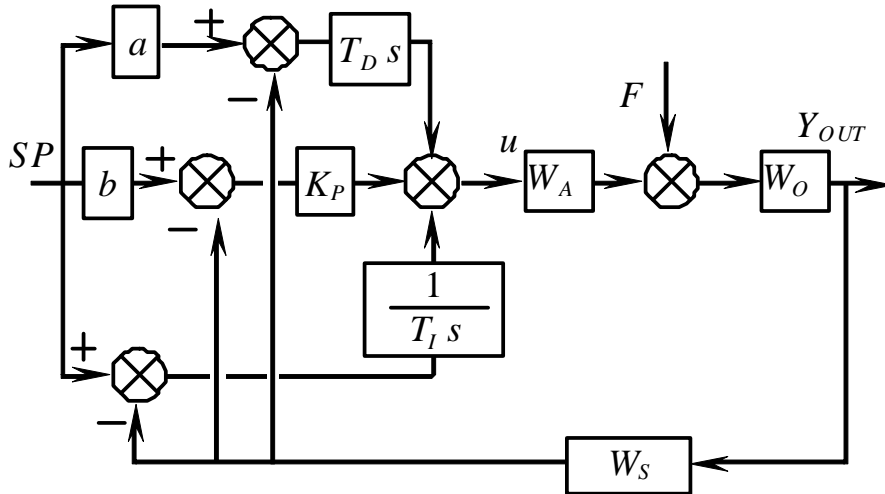


Рисунок 1 – Первый вариант two-degree-of-freedom structure (FVTD)

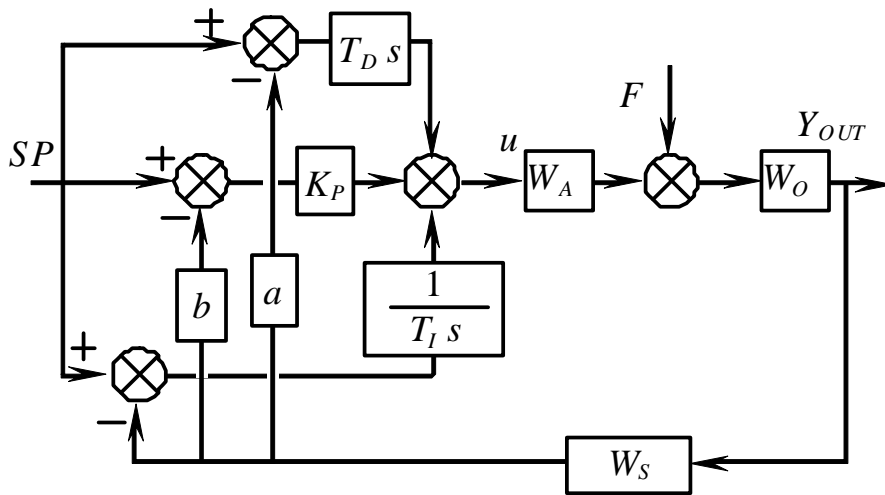


Рисунок 2 – Первый вариант two-degree-of-freedom structure (SVTD)

В качестве критерия настройки, как и в работе [4], легко можно использовать интегральные критерии [5]. В работе были использованы два критерия

$$\int_0^{tf} t^2 |e(t)| dt \rightarrow \min \quad (1)$$

При настройке по информационному каналу задания ошибка вычислялась как

$$e(t) = SP - Y_{OUT} \quad (2)$$

При настройке по информационному каналу возмущения ошибка соответствовала выходному значению

$$e(t) = Y_{OUT} \quad (3)$$

Алгоритм настройки предполагает попеременное применение формул (3) и (4). Для структуры на рис. 1 сначала находятся настройки  $K_P$ ,  $T_I$  and  $T_D$ , по критерию с использованием (4), а затем по тому же критерию уже с использованием (3) находились дополнительные коэффициенты  $a$  and  $b$ . В случае использования структуры на рис. 2  $K_P$ ,  $T_I$  and  $T_D$  находились в соответствии с (3), а уже  $a$  and  $b$  по (4).

Для исследования была выбрана система со следующими передаточными функциями:

$$W_A(s) = \frac{1}{5s + 1}; \tag{5}$$

$$W_S(s) = \frac{1}{10s + 1}; \tag{6}$$

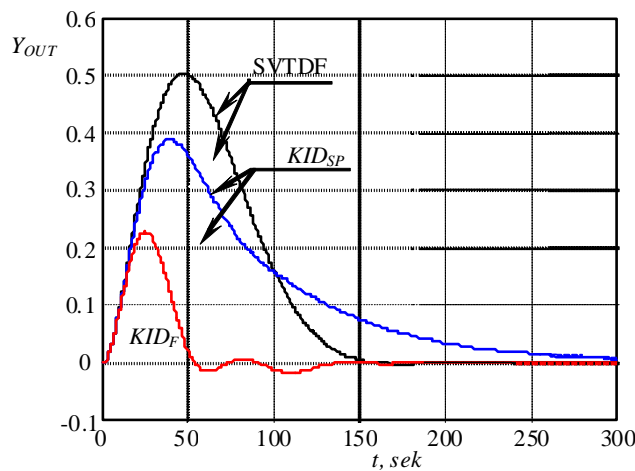
$$W_o(s) = \frac{1}{(15s + 1)(25s + 1)} \exp(-\tau s). \tag{7}$$

Поскольку транспортное запаздывание  $\tau$  существенно влияет на результат применения интегральных критериев [5], методика настройки была проверена для нескольких значений  $\tau = [0 \ 3 \ 7.5 \ 15]$ .

Минимизация критериев производилась в Matlab. Время моделирования для каждого значения  $\tau$  было свое, которое определялось предварительным экспериментом.

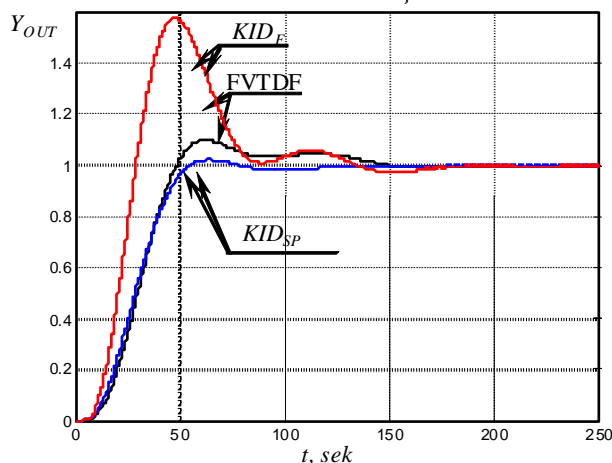
**Таблица 1. Соотношений между параметрами регуляторов, которые найдены по критерию (1)**

	$\tau$			
	0	3	7.5	15
$K_{P,SP}/K_{P,F}$	0.3689	0.5342	0.4882	0.6394
$T_{I,SP}/T_{I,F}$	5.9179	3.4831	2.7151	1.9518
$T_{D,SP}/T_{D,F}$	0.3486	0.5221	0.4102	0.5660



**Рисунок 3 – Переходной процесс по возмущению для запаздывания  $\tau = 0$ ,**





**Рисунок 4 – Переходной процесс по заданию для запаздывания  $\tau = 3$**

Данные показывают, что дополнительные коэффициенты настроек позволяют уменьшить значение интегральных критериев. Однако для ряда проверенных значений вариации динамики объектов эти улучшения не всегда существенные. Если проанализировать другие параметры переходного процесса, то можно отметить, что структура улучшает интегральные характеристики за счет формирования дополнительного начального воздействия. Как следствие, это приводит к перерегулированию выходного параметра, хотя и улучшает кроме интегрального параметра время переходного процесса.

В целом структура 1 за счет дополнительных коэффициентов способствует уменьшению перерегулирования и времени переходного процесса.

Структура 2, в первую очередь, способствует улучшению быстродействия и уменьшению переходного процесса.

Использованная методика последовательной настройки структуры two-degree-of-freedom ПИД-регулятора путем использования интегрального критерия дает устойчивый вариант комплексной настройки. Одновременная настройка всех пяти коэффициентов позволит добиться большего баланса. Но в этом случае потребуется сформировать обобщенный критерий для канала по возмущению и сигналу задания с весовыми коэффициентами. Вариация этих весовых коэффициентов позволит перераспределять эффективность функционирования исходя из требований прикладной технологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aström, K.J. and Hägglund, T. Advanced PID control. ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society; Research Triangle Park, 2006.

2. Alfaro, V. M, Vilanova, R. Model-Reference Robust Tuning of PID Controllers. Springer. p. 202

3. В. В. Денисенко. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. Москва, Горячая линия, Телеком, 2009.

4. Hryniuk D, Suhorukova I, Orobei I Non-linear PID controller and methods of its setting. // Electrical, Electronic and Information Sciences (eS-tream), 2017 Open Conference of. IEEE. P.1-4

5. Д.А. Гринюк, И.О. Оробей, И.Г. Сухорукова. “Модификация интегральных критериев для повышения запаса по устойчивости” Труды БГТУ, №6, Физ.-мат. науки и информатике. 2012. С. 118-121.

УДК 681.5

Студ. Е.Е. Лаврусик, Н.В. Давидовский

Научн. рук. доц. Д.А. Гринюк

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **О ВЛИЯНИИ ВРЕМЕНИ КВАНТОВАНИЯ НА ИНТЕГРАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ**

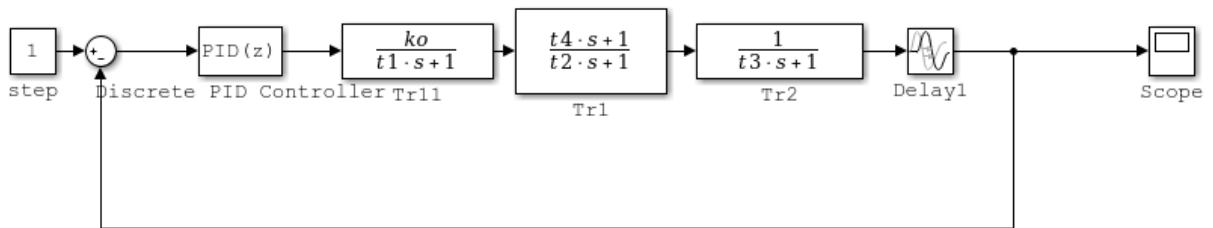
Интегральные оценки качества являются интегралами по времени от некоторых функций переходного процесса, например ошибки. Цель использования таких критериев состоит в том, чтобы получить общую оценку быстродействия и отклонения регулируемой величины от установившегося значения. Широко используются линейные и квадратичные интегральные критерии. Простейшим из таких критериев является линейный интеграл вида:

$$J = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt$$

Если система устойчива, то интеграл стремится к конечному значению.

Чем выше быстродействие системы, тем меньше величина критерия поэтому параметры системы следует выбирать так чтобы величина интегрального критерия стремилась к минимуму. Недостатком этой оценки является то, что она применима к монотонным или апериодическим процессам. При колебательном процессе площади ограниченные кривой складываются алгебраически и минимуму может соответствовать процесс с большим числом колебаний то есть, с малым быстродействием и даже незатухающими колебаниями.

Рассмотрим объект управления для которого были найдены коэффициенты ПИД регулятора с различным временем квантования. Структурная схема системы имеет вид:



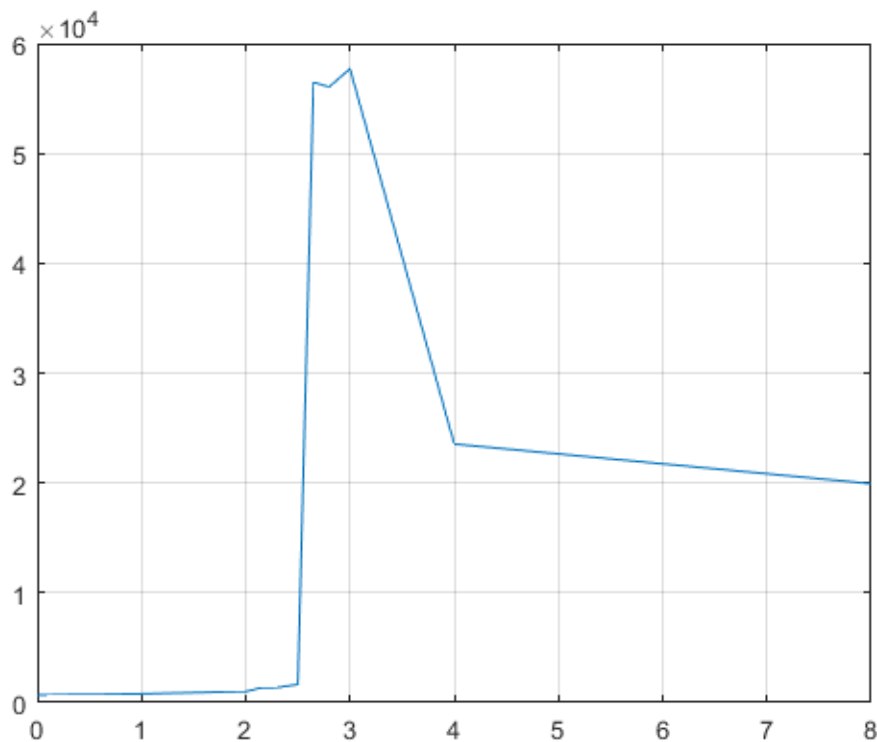
**Рисунок 1 – Структурная схема системы управления**

С такими коэффициентами:

$ko=1; t4=2; t1=10; t2=7; t3=3;$

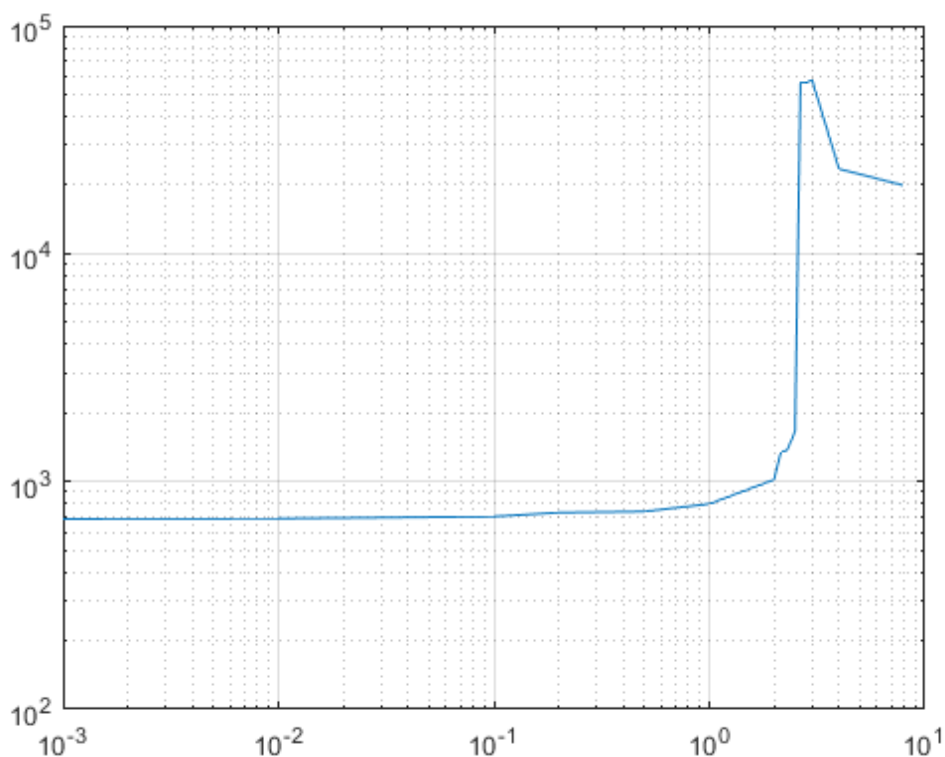
Используем интегральный критерий вида:

$$J = \int_0^t \varepsilon(t) \cdot t^2 \cdot dt$$



**Рисунок 2 – Зависимость величины интегрального критерия от времени квантования**

Перейдем к логарифмической системе координат:



**Рисунок 3 – Зависимость величины интегрального критерия от времени квантования в логарифмических координатах.**

Закключение: как видно из графика, существует граничное значение времени квантования после которого система уходит в разнос т. е., становится не устойчивой. В данном случае граничное значение для времени квантования равно  $T=2.4$

УДК 926.621

Студ. Е.О. Пантелеенко

Науч. рук. к.т.н., ст. преподаватель Д.Н. Боровский  
(кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств, БГТУ)

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОМОЛА В РОТОРНОЙ И ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦАХ**

В современной химической промышленности и в промышленности строительных материалов часто необходимо получение микро и нано порошков, для получения которых применяются различные виды промышленных мельниц. Одним из примеров является роторная и планетарная мельницы. В этой связи есть необходимость изучения оптимальных режимов работы мельниц и процесса помола в них.

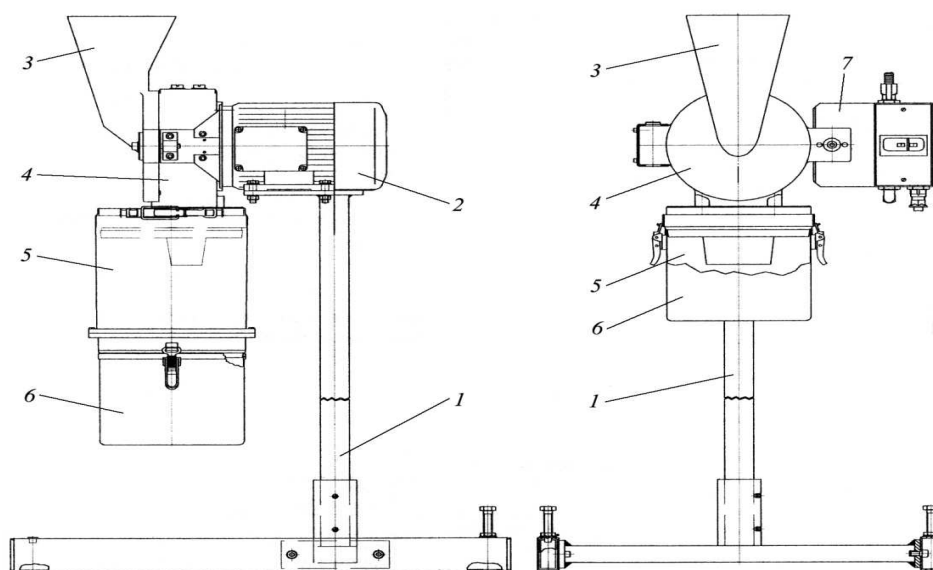
Цель эксперимента заключается в сравнении фракционных составов продукта при первичном и вторичном измельчениях боярышника на роторной и планетарной мельницах.

Величина готового продукта не должно было превышать 200 мкм. В состав исследуемого материала входили листья с приблизительным диаметром 3-5 мм. И веточки и сучки с диаметром 1-4 мм и длиной до 10 мм.

Рассмотрим конструкцию и принцип действия роторно-крестовой и планетарной мельниц, которые применялись для проведения эксперимента.

Для проведения эксперимента применялась роторно-крестовая мельница (рисунок 1),предназначенная для грубого и тонкого измельчения в периодическом или непрерывном процессах. Она работет со среднетвердыми и хрупкими материалами с твердостью по шкале Мооса не более 6 единиц.Максимальный начальный размер частиц сыпучих материалов 15 мм, отдельных кусков до 20 мм. Конечная тонкость и производительность зависит от свойств материала и размеров ячеек нижнего сита. Благодаря мощному приводу, во многих случаях, за один шаг можно достичь тонкости до 100 мкм.

Измельчение в мельнице происходит за счет следующих воздействий: удара и резания. Из воронки 3 измельчаемый материал попадет прямо в центр размольной камеры 4, где он разбивается крестовыми молотками и измельчается между накладными вставками ротора и зубчатой вставкой камер. Как только материал становится меньше, чем размер ячеек нижнего сита, он проходит сквозь сито и попадает в приемный сосуд 6. Воздух, засасывается через воронку 3, за счет вращения ротора, и ускоряет выгрузку измельченного материала. Пылевидная фракция отделяется при помощи фильтровальной системы 5.



**Рисунок 1 – Роторно-крестовая мельница**

1 – станина; 2 – электродвигатель;  
3 – загрузочная воронка; 4 – размольная камера;  
5 – фильтр; 6 – приемный сосуд; 7 – пульт управления

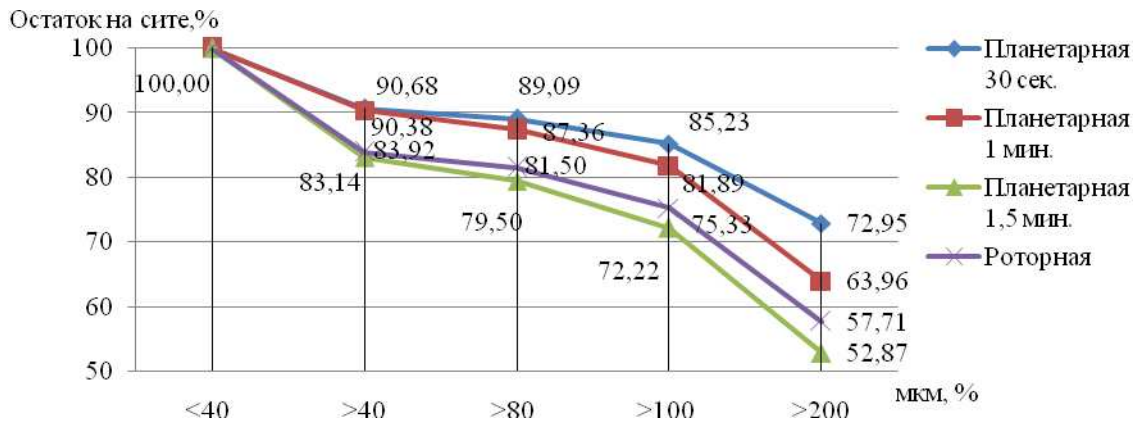
Также для эксперимента применялась планетарная мельница периодического действия (рисунок 2), которая работает в периодическом режиме. Процесс загрузки и выгрузки материала происходит во время полной остановки работы мельницы.

Принцип работы заключается во вращении 2 барабанов относительно центральной оси и вокруг собственной оси в противоположную сторону вращения ротора мельницы. При увеличении скорости измельчения в размольных барабанах увеличивается центробежная сила. Это достигается благодаря использованию специального планетарного редуктора, обеспечивающего барабанам это специфическое вращение. Такая схема позволяет создавать перегрузки в десятки г, многократно увеличивая эффективность измельчительного оборудования и снижая энергозатраты на процесс помола.

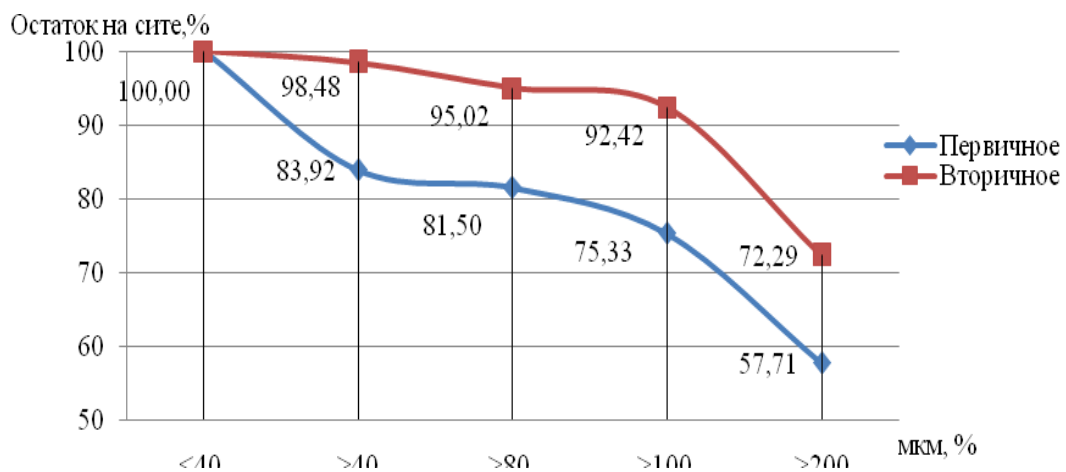
Для проведения опытов применялась планетарная мельница с максимальной угловой скоростью барабанов  $\omega$ . Остальными параметрами планетарной мельницы были следующими:  $D_B = 100$  мм,  $b = 1$ ,  $k_{ВН} = 0,294$ ,  $d_{Ш} = 18$  мм, с загрузкой шаров и измельчаемого материала в соотношении 2:1. Для сравнения результатов эксперимента были построены графики сравнения фракционного состава продукта при различных видах измельчения, где на оси абсцисс указано величина ячеек сита применяемое при просеивания. А на оси ординат величина остатка продукта на сите, которое осталось после просеивания.



**Рисунок 2 – Внешний вид промышленной планетарной мельницы периодического действия**



**Рисунок 3 – Фракционный состав измельчённого материала в планетарной и роторной мельнице при первичном измельчении**

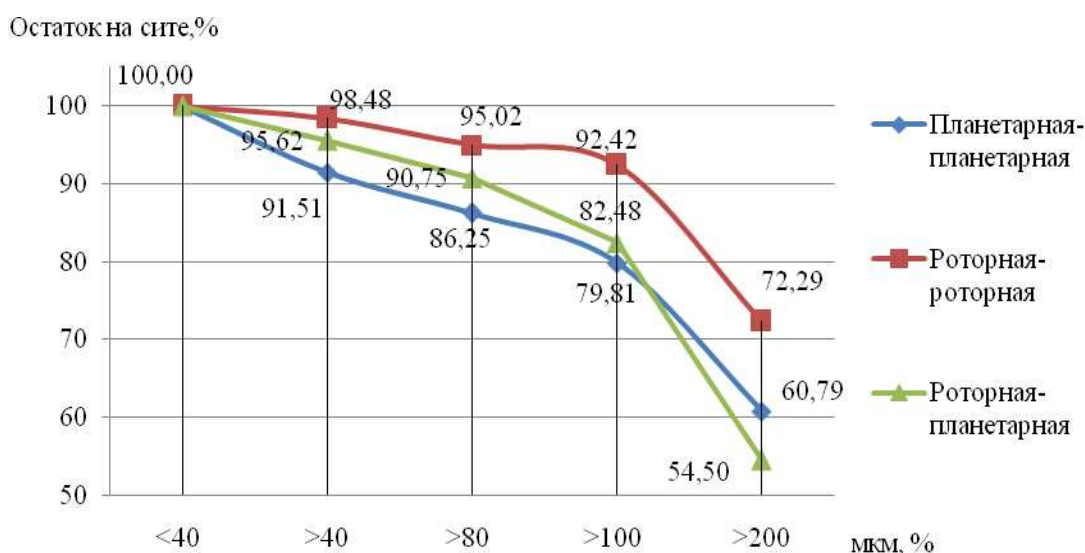


**Рисунок 4 – Фракционный состав измельчённого материала в роторной мельнице**

Полученные результаты из графиков (рисунок 3) свидетельствуют о том, что с увеличением времени помола на планетарной мельнице эффективность возрастает. И оптимальным временем помола на планетарной мельнице составил 1,5 мин.

Дальнейшее увеличение оказывается неэффективным вследствие чрезмерного нагрева барабанов материала, что приводит к его слипанию и резкому ухудшению показателей при просеивании.

Достаточно высокий фракционный выход в роторной мельнице (рисунок – 4) связан с тем, что она является ударного действия. Что позволяет хорошо измельчить листья в связи с тем, что на материал воздействует удар и резание. Но при вторичном измельчении эффективность помола на роторной мельнице резко падает. Так как при ударе волокнистый материал хуже измельчается.



**Рисунок 5 – Фракционный состав измельченного материала в планетарной и роторной мельнице**

Из графика видно (рисунок – 5), что при применении комбинаций данных мельниц наиболее эффективным оказалось применение комбинации когда материал на первичном измельчении получают на роторной мельнице, а во вторичном через планетарную. Это связано с тем, что в планетарной мельнице имеет место истирание и раздавливание что позволяет хорошо измельчать волокнистые материалы, в данном случае более полно измельчить веточки и сучки.

Результаты эксперимента показали, наилучшую эффективность помола даёт применение комбинации роторной и планетарной мельниц. В этом случае, первичное измельчение волокнистых материалов проводят на роторной мельнице, а вторичное – на планетарной.



УДК 630\*36:62-192

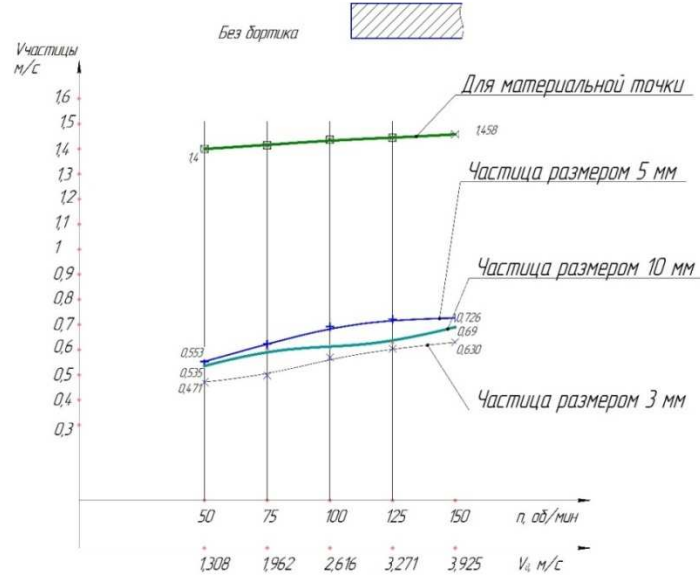
Студ. В. И. Ахрамович

Науч. рук. доцент, канд. техн. наук В. С. Францкевич  
(кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств, БГТУ)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СЫПУЧИХ СРЕД ПО ВРАЩАЮЩЕМУСЯ ДИСКУ**

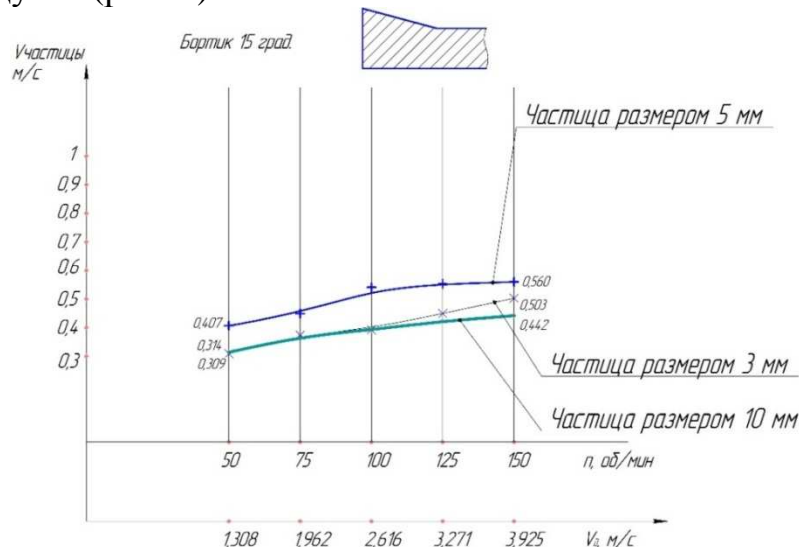
Моделирование движения частиц по вращающемуся горизонтальным поверхностям является типовой задачей при исследовании центробежных мельниц ударного типа, среднеходных мельниц, воздушных классификаторов и др. Часто эту задачу упрощают до прямолинейного движения. На самом деле частицы движутся по некоторой криволинейной траектории. Аналитически рассчитать движение массы частиц очень сложно, так как невозможно предугадать их движение и соударения, которые будут влиять на траектории и скорость движения частиц, но возможно рассчитать в том случае, если частиц несколько, и они не будут взаимодействовать между собой. Одним из направлений решения поставленной задачи является компьютерное моделирование. Исследование движения кубических частиц проводилось в программе SOLIDWORKS, это программный комплекс САПР для автоматизации работ на этапах конструкторской и технологической подготовки. В работе исследовалось движение масс частиц размером 2, 5 и 10 мм по плоскому диску (диаметром 500 мм) и дискам, имеющим бортики с углом наклона 15, 30 и 45 градусов.

При исследовании движения частиц по диску без бортика (рис. 1), скорость самой маленькой частицы в момент вылета с диска при 50 об/мин составила 0,47 м/с, с увеличением числа оборотов до 150, скорость в момент отрыва частицы увеличилась до 0,63 м/с. Скорость в момент отрыва частицы среднего размера составила при 50 об/мин – 0,55 м/с, а при увеличении числа оборотов до 150 об/мин – 0,73 м/с. Скорость в момент отрыва самой большой частицы при 50 об/мин составила 0,54 м/с, при увеличении числа оборотов до 150 об/мин, скорость в момент отрыва возросла до 0,69 м/с. Так же для сравнения, для плоского диска была рассчитана скорость в момент отрыва частицы для материальной точки в программе Mathcad и были получены следующие данные, при 50 об/мин она составила 1,4 м/с, а при увеличении числа оборотов до 150 об/мин она составила 1,46 м/с. Из данного графика можно сделать вывод, что траектория движения сыпучей среды значительно отличается от движения материальной точки. Разница в скоростях отдельной частицы и материальной точки объясняется балансом центробежной силы и силы трения.



**Рисунок 1 – Зависимость скорости слета частиц с плоского диска от частоты его вращения**

Далее был исследован диск с бортиком, угол наклона которого равен 15 градусов (рис. 2).

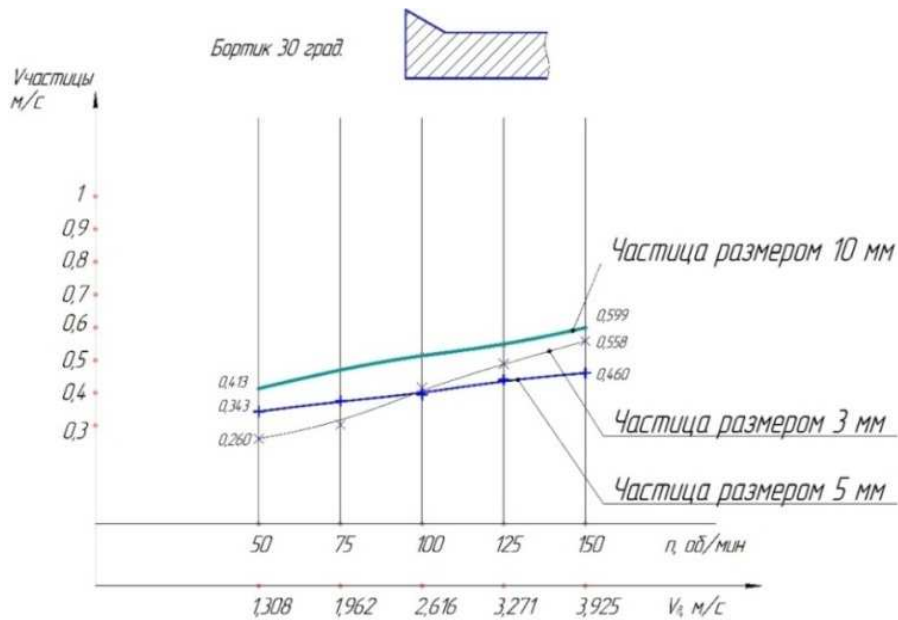


**Рисунок 2 – Зависимость скорости слета частиц с диска с бортиком (15 град) от частоты его вращения**

Были получены следующие данные: для самой маленькой частицы: при 50 об/мин скорость в момент отрыва частицы равна 0,309 м/с, а при 150 оборотом скорость в момент отрыва составила 0,503 м/с. Скорость в момент отрыва составила средней частицы при 50 об/мин равна 0,407 м/с, а при увеличении до 150 об/мин – 0,560 м/с. Самой большой частицы при 50 об/мин скорость в момент отрыва бы-

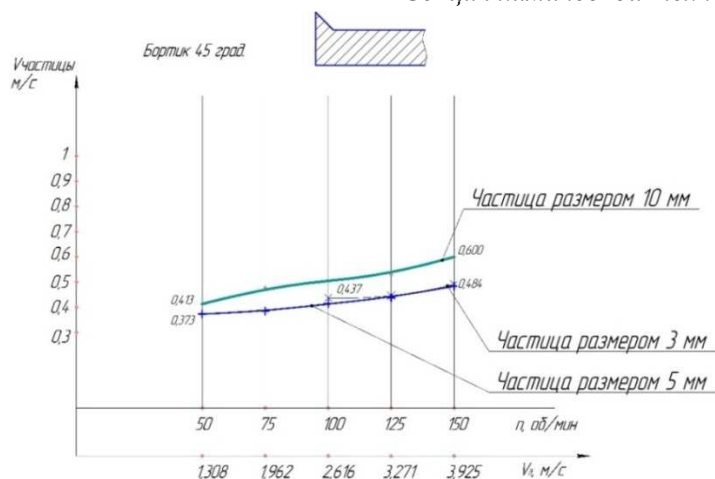
ла равна 0,314 м/с, при 150 об/мин – скорость в момент отрыва равна 0,442 м/с.

При исследовании диска с углом наклона бортика 30 градусов были получены следующие данные (рис. 3): для самой маленькой частицы при 50 об/мин скорость в момент отрыва составила 0,260 м/с, при 150 об/мин скорость в момент отрыва возросла до 0,558 м/с. Для средней частицы: скорость в момент отрыва при 50 об/мин составила 0,343 м/с, при 150 об/мин – скорость в момент отрыва возросла до 0,460 м/с. Для самой большой частицы: при 50 об/мин скорость в момент отрыва равна 0,413 м/с, при увеличении числа оборотов до 150, скорость в момент отрыва получилась равной 0,599 м/с.



**Рисунок 3 – Зависимость скорости слета частиц с диска с бортиком (30 град) от частоты его вращения**

При моделировании движения сыпучей среды по диску с бортиком с углом наклона 45 градусов (рис. 4), и был получены следующий данные: маленькая частица: при числе оборотов 50 и 75, частица не вылетала с диска, она вылетела только при числе оборотов равное 100 об/мин, и скорость в момент отрыва получилась равной 0,437 м/с, при увеличении числа оборотов до 150 об/мин, скорость в момент отрыва составила 0,484 м/с.



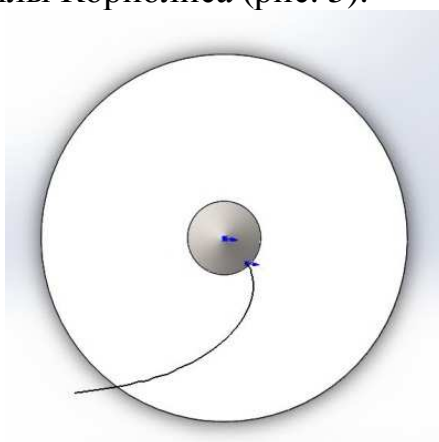
**Рисунок 4 – Зависимость скорости слета частиц с диска с бортиком (40 град) от частоты его вращения**

Скорость в момент отрыва средней частицы при 50 об/мин составила 373 м/с, при увеличении числа оборотов до 150 об/мин, она составила 0,484 м/с. И скорость в момент отрыва от диска самой большой частицы при 50 об/мин составила 0,413 м/с, а при 150 об/мин – 0,600 м/с.

Предварительно можно сделать следующие выводы:

- очевидно, что с увеличением числа оборотов возрастает и скорость частиц.
- использование дисков с бортиком значительно снижает скорость слета частиц, которая еще более уменьшается с увеличением его угла наклона.

Траектория движения частицы по диску похожа на дугу, и закручивается в противоположную сторону от направления вращения диска, это происходит из-за воздействия силы трения скольжения, центробежной силы и силы Кориолиса (рис. 5).



**Рисунок 5 – Смоделированная траектория движения частицы по вращающемуся диску**

Также показано, что при увеличении числа оборотов, траектория менее закручена, это видно по расчетам, полученным с помощью Mathcad (рис. 6).

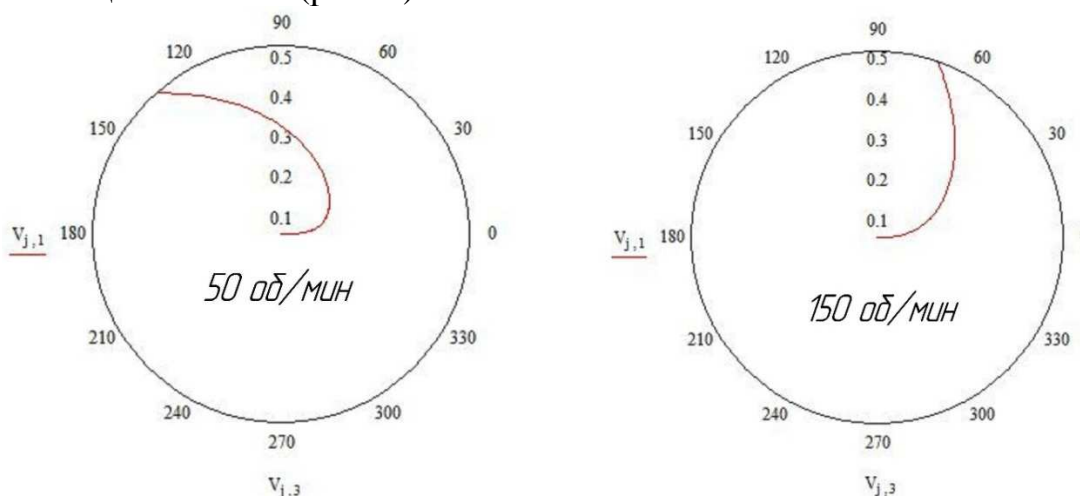


Рисунок 6 – Расчетная траектория движения

УДК 621.926

Студ. И. А. Орлов

Науч. рук. доцент Вайтехович П.Е.

(кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств БГТУ)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПЛАНЕТАРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ЗАГЛАЖИВАЮЩИХ МАШИН

В данной работе предлагается метод определения скорости планетарного рабочего органа как альтернативы рабочим органам с вращательным движением. Для вращательного движения характерна линейная зависимость скоростей точек рабочего органа от угловой скорости и расстояния от центра вращения. При планетарном движении скорость каждой точки рабочего органа зависит от большего числа параметров: угла поворота водила, частоты вращения, радиуса обкатки, радиуса обкатываемых дисков, расстояния до рабочей точки. Причем, эта зависимость имеет нелинейный характер, что в некоторых случаях может иметь определяющее значение.

Основной характеристикой эффективности работы заглаживающей машины является степень заглаживания [1-2].

$$S = \frac{v_d}{v_m} \cdot R \quad (1)$$

где  $R$ — радиус обкатки;

$v_d$ —скорость диска;

$v_m$ —скорость машины;

Скорость рабочего органа можно определить путем дифференцирования параметрического уравнения траектории движения. Для рабочих органов с планетарным движением при внешней обкатке траекторией движения является эпициклоида, при внутренней – гипоциклоида[5]. Параметрические уравнения эпициклоиды и гипоциклоиды имеют вид.

$$\left\{ \begin{array}{l} x = (R + r) \cdot \cos \varphi - d \cdot \cos \left( \frac{R + r}{r} \cdot \varphi \right) \\ y = (R + r) \cdot \sin \varphi - d \cdot \sin \left( \frac{R + r}{r} \cdot \varphi \right) \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = (R - r) \cdot \cos \varphi + d \cdot \cos \left( \frac{R - r}{r} \cdot \varphi \right) \\ y = (R - r) \cdot \sin \varphi - d \cdot \sin \left( \frac{R - r}{r} \cdot \varphi \right) \end{array} \right\}$$

где  $r$ — радиус обкатываемого круга (диска);

$d$ — радиус производящего круга (рабочего органа);

$\varphi$  — угол поворота водила.

Для того чтобы определить скорость в любой произвольной точке кривой, необходимо продифференцировать уравнение траектории.

Так как скорость- это производная по времени, то необходимо перейти от переменной  $\varphi$  к новой переменной  $t$ .

Для упрощения уравнения введем геометрические критерии

$$k = r/R \quad (3)$$

$$b = d/r. \quad (4)$$

После дифференцирования окончательно уравнение для расчета полной скорости при наружной обкатке примет вид

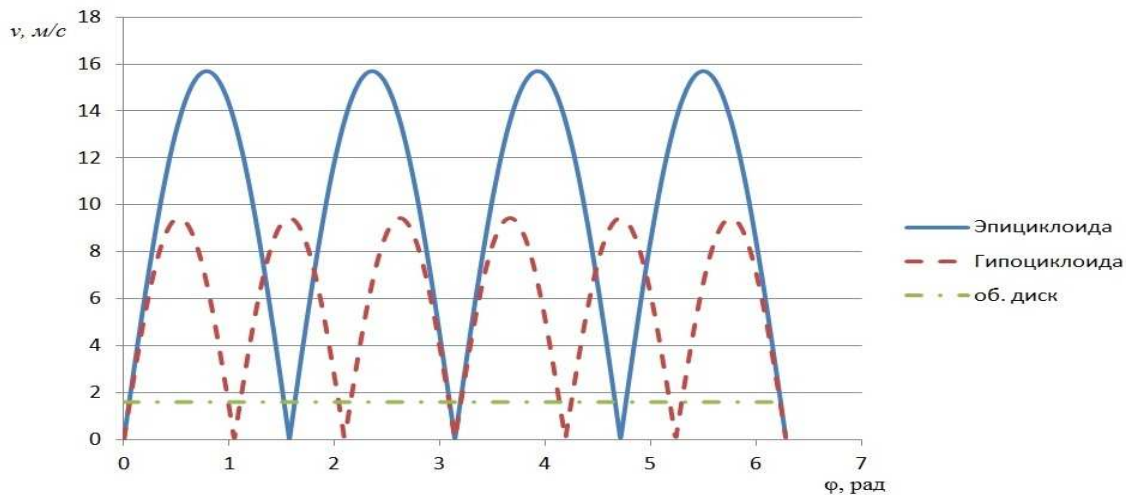
$$v = 2 \cdot \Omega \cdot R \cdot \sqrt{1 + b^2 - 2 \cdot b \cdot \cos \left( \frac{\varphi}{k} \right)}. \quad (5)$$

Выполнив аналогичную последовательность действия с уравнениями гипоциклоиды, получим выражение для определения полной скорости при внутренней обкатке

$$v = \Omega \cdot R \cdot (1 - k) \cdot \sqrt{1 + b^2 - 2 \cdot b \cdot \cos\left(\left[2 + \frac{1}{k}\right] \cdot \varphi\right)}. \quad (6)$$

По уравнениям (4, 5) рассчитывалась линейная скорость за один цикл, который соответствует повороту водила на угол  $\varphi = 2\pi$ . Радиус обкатки был принят  $R=0.6$  м. В процессе расчёта задавались значения геометрических критериев  $k = 1/4; b = 1$  и частоты вращения водила  $n=100 \text{ мин}^{-1}$ . Угловая скорость рассчитывалась как  $\Omega = 2\pi n$

Для сравнения скорости планетарного рабочего органа с обычным рассчитаем линейную скорость обычного диска при частоте вращения  $n=100 \text{ мин}^{-1}$  и его диаметре  $d=300$  мм, что соответствует  $k=0,25$  для планетарного. Эта скорость остается постоянной  $v=1,57$  м/с. Она показана на графике в виде прямой линии. Сравнивая скорости планетарных и простых дисковых рабочих органов, можно сделать вывод, что для дисков одного размера и при одинаковой частоте вращения приводного вала скорость (а значит и заглаживающая способность) планетарных рабочих органов в несколько раз превышает скорость простого диска.



**Рисунок 1 – Изменение скорости диска от угла поворота водила**

Таким образом, в работе показано, что степень заглаживания напрямую зависит от скорости диска. Вместе с тем, из графика (рис.1) видно, что средняя скорость при планетарном движении диска многократно превышает скорость обычного диска. Отсюда делаем вывод, что при планетарном движении заглаживающая способность значи-

тельно возрастает. Это свидетельствует о более высокой эффективности заглаживания у машин с планетарным рабочим органом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотный А.В. Выбор вида рабочего органа машины для заглаживания незатвердевших бетонных поверхностей. Известия вызов. Строительство, - Новосибирск, 1995.

2. Фарах А.Ф. Исследование брусковых заглаживающих машин с дисковым рабочим органом с простым и сложным движением. -Л.: 1999.

УДК 630\*36:62-192

Магистрант Е. А. Семенов

Науч. рук. доцент, канд. техн. наук В. С. Францкевич

(кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств, БГТУ)

#### **АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ВАЛКОВОГО ПРЕССА**

Методы расчета надежности находятся в состоянии непрерывного развития. Первые рекомендации сводились к расчетам простых изделий без учета постепенных отказов и влияния контроля и профилактики. Развитие теории надежности сопровождалось большим числом работ в области расчетов. Главное внимание на первых этапах этих работ обращалось на разработку способов резервирования и методов расчета надежности при различном резервировании. Это объяснялось тем, что резервирование оказалось наиболее эффективным средством повышения надежности при рациональном его использовании.

Наиболее употребляемые методы резервирования можно разделить на следующие четыре группы:

–элементное или системное резервирование, при котором в объекте наряду с основными элементами имеют место резервные. Способы включения их разнообразны (параллельное, последовательное, комбинированное, поэлементное, общее, мостиковое, по избирательной схеме, постоянное, с переключающими устройствами и т.д.);

–временное резервирование, при котором предусматривается запас (резерв) времени на выполнение заданных функций. Этот резерв времени позволяет многократно повторять рабочую операцию, обнаруживать отказ и устранять его. Отказ в период резервного времени не



приводит к катастрофическим последствиям и его можно не учитывать при расчетах;

–функциональное резервирование, при котором система обладает функциональной избыточностью, т.е. при отказах в системе она продолжает выполнять заданную функцию;

–информационное резервирование, когда при передаче и представлении информации используются добавочные (резервные, избыточные) средства представления (дополнительные кодовые разряды, коды с обнаружением ошибок и т.п.).

Для расчета надежности используются следующие основные методы:

- методструктурных схем;
- методлогических схем;
- схемно-функциональный метод;
- матричный метод;
- табличный метод;
- метод графов.

Непрерывность технологического цикла гранулирования калийных удобрений определяется в основном долговечностью исполнительных узлов вальц-пресса. Его наиболее нагруженными узлами являются:

–вращающиеся рабочие валки расположены, соответственно в опорных частях. Один прессовый валок выполнен в виде неподвижного валка, в то время как другой валок выполнен в виде перемещающегося валка. Подвижный валок расположен своими опорными частями с возможностью сдвига в раме пресса, а именно, вдоль горизонтального направления, которое направлено перпендикулярно относительно оси валка. При этом подвижной валок прижимается прижимными устройствами, так что зазор прижима, или прессующее усилие, может регулироваться через подвижный валок. На рисунке 1 представлен валок в сборе.

– стальные бандажи установленные на каждом из валков, при вращении которых уплотняется порошковая масса удобрений. Низкая износостойкость бандажей обусловлена высокими контактными давлением и скоростью скольжения, а также их эксплуатацией в коррозионно-активной среде хлористого калия.

–привод пневматический состоит из блока управления и цилиндра, соединенных между собой пластиковыми трубопроводами. Подвод сжатого воздуха к блоку управления осуществляется из общей магистрали с установленным фитингом. Блок управления устанавливается по месту при монтаже с учетом индивидуальных условий. На ци-

линдрес учетом необходимого рабочего хода штока установлены датчики положения поршня.

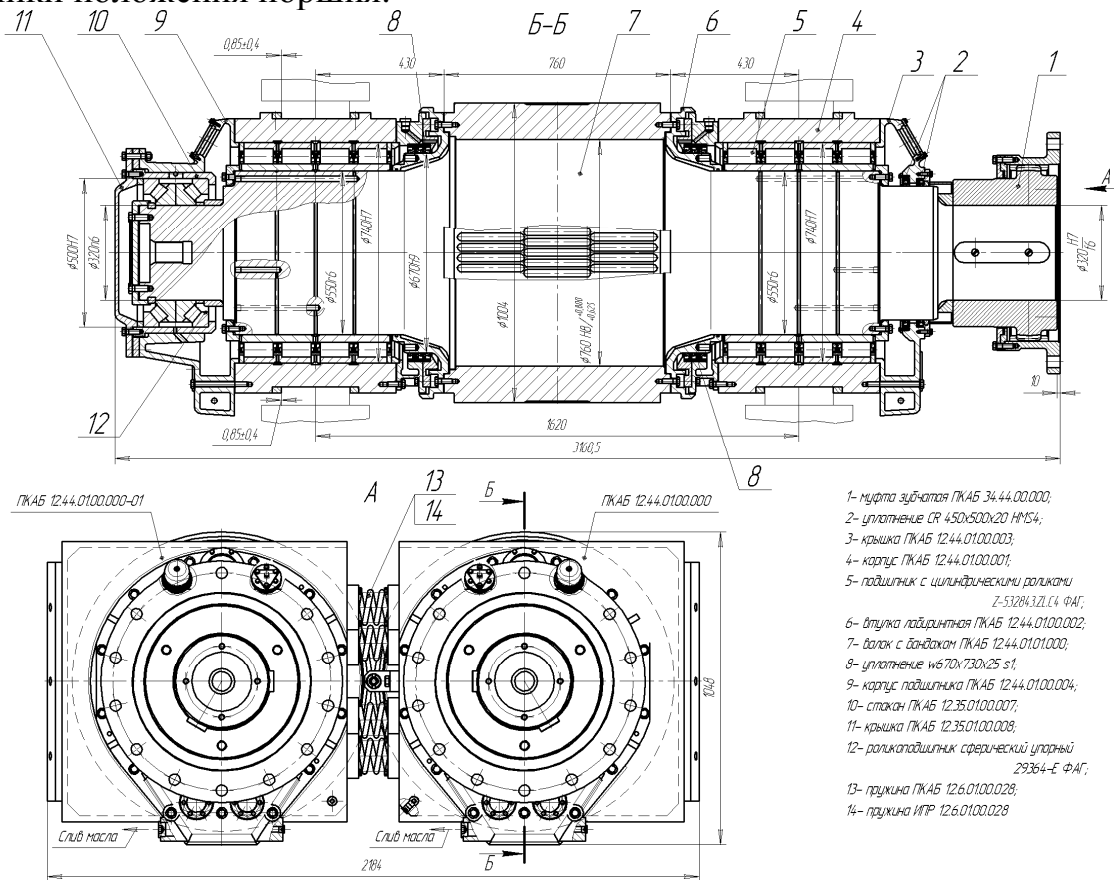


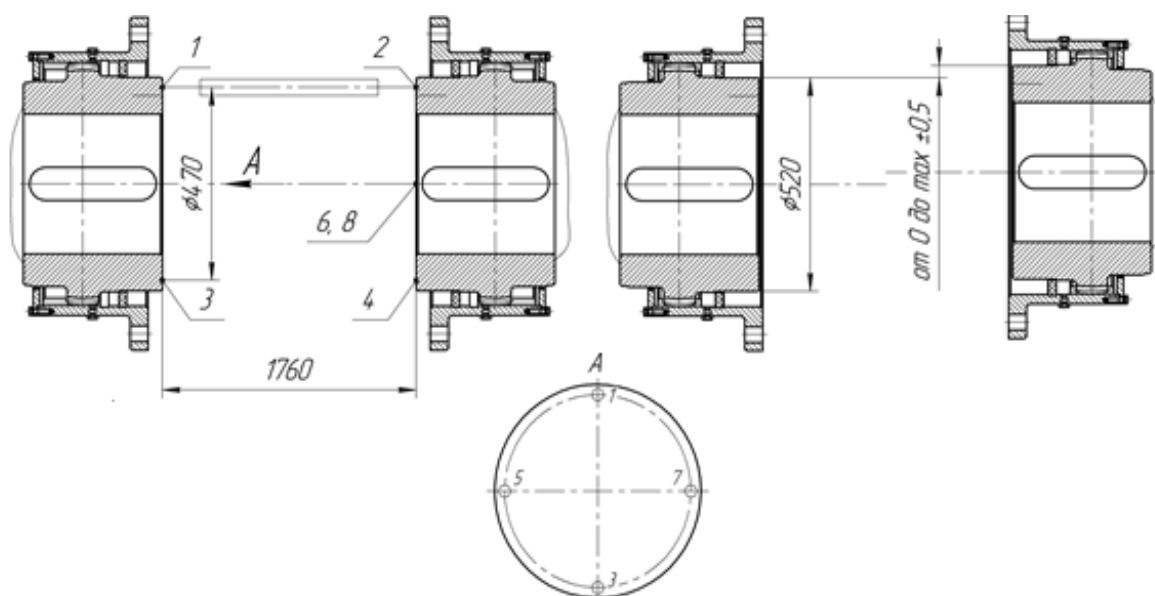
Рисунок 1 – Валок в сборе

– нажимные механизмы. Нажимные винты воспринимают силу прокатки, приходящуюся на рабочий валок, и передают ее через нажимные гайки станинам. Нажимные гайки – наиболее изнашивающиеся детали нажимного механизма изготавливают из литой бронзы. Для экономии бронзы гайки выполняют составными: наружные бандажи делают из высокопрочного чугуна, модуль упругости которого близок к модулю упругости бронзы.

– самоцентрирующиеся сферические роликоподшипники. Помимо радиальных нагрузок, такие подшипники способны выдерживать осевые нагрузки, действующие в обоих направлениях, что делает их нечувствительными к перекосу вала во время работы пресса.

– зубчатая муфта состоит из двух зубчатых втулок и двух зубчатых обжимов, которые соединены между собой болтами. Наряду с достоинствами (простота конструкции, компенсирующие свойства при перекосах валов) зубчатые муфты имеют недостатки: необходимость частой заправки смазки, динамические нагрузки при выборе боковых

зазоров в зубьях при реверсивной работе, ненадежность узлов уплотнения, сложность технологии изготовления зубьев. Зубчатые полу-муфты валкового пресса имеют возможность смещения по вертикали и горизонтали (рисунок 2).

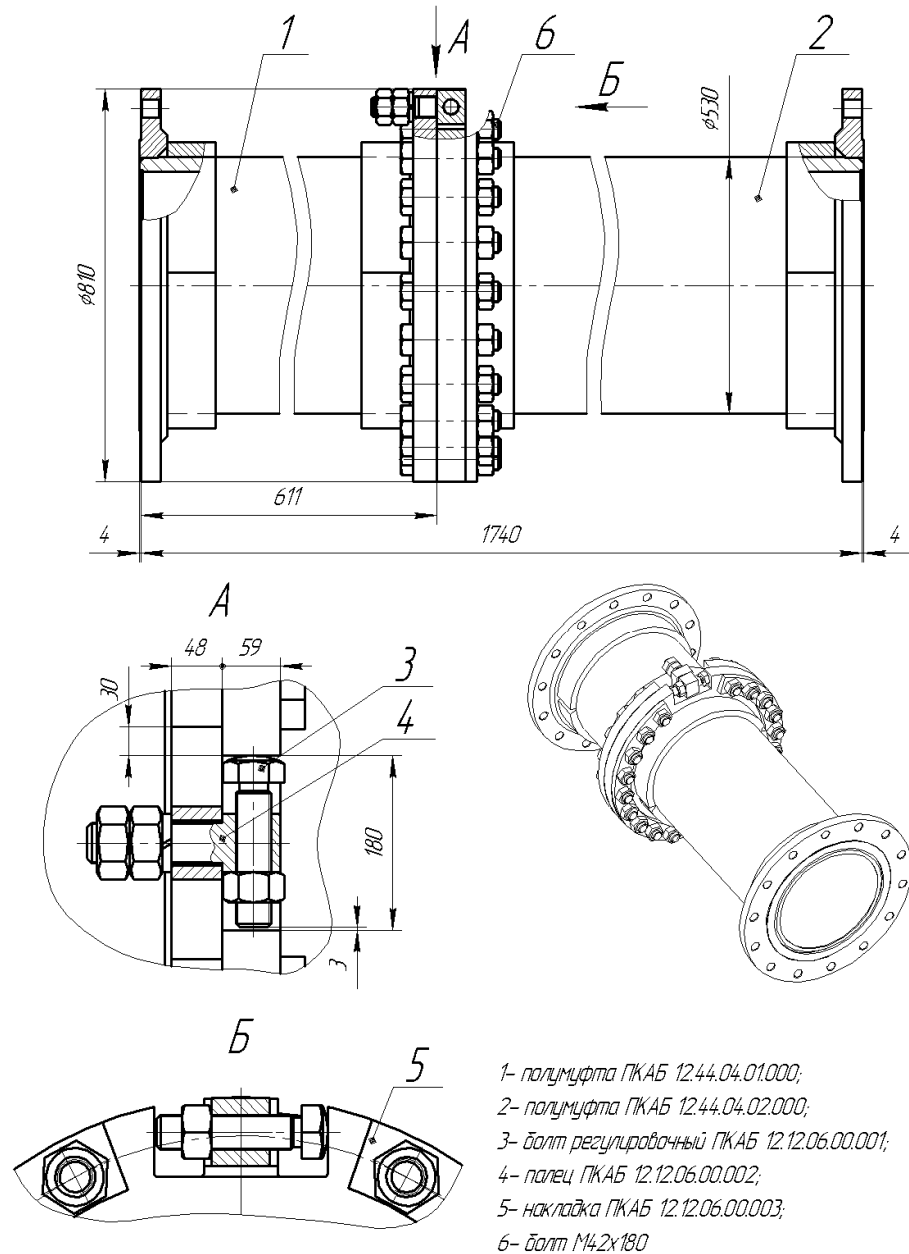


**Рисунок 2 – Смещение муфт по вертикали и горизонтали**

– регулировочный вал (рисунок 3) установлен между двумя зубчатыми муфтами и состоит из двух полумуфт соединенных при помощи болтов.

Исходя из произведенного анализа наиболее нагруженных узлов и деталей валкового пресса, можно сделать вывод, что наиболее быстроизнашивающимися из них являются стальные бандажи валков, при вращении которых уплотняется порошковая масса удобрений.

Низкая износостойкость бандажей обусловлена высоким контактным давлением, скоростью скольжения, а также их эксплуатацией в коррозионно-активной среде хлористого калия. Эта среда является не только причиной окислительного изнашивания. Она способствует образованию и развитию усталостных микротрещин в поверхностном слое бандажа, так как продукты коррозии оказывают расклинивающее действие на стенки микротрещин.



**Рисунок 3 – Вал регулировочный**

На износостойкость бандажей также оказывает влияние то, что для реализации технологического процесса гранулирования их поверхностный слой должен содержать углубления, необходимые для захвата и подачи сыпучей массы в зону сдавливания между валками и выталкивания изделия после прессования.

УДК 621.65.01

Магистрант С.А. Герасимчик

Науч. рук., доцент, канд. техн. наук В.Н. Павлечко

(кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств, БГТУ)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ С ОДИНАКОВЫМИ УГЛАМИ НАКЛОНА ЛОПАСТЕЙ**

Цель работы заключается в нахождении расчетных зависимостей для определения действительного давления, развиваемого некоторыми типами вентиляторов.

Радиальные вентиляторы различаются различными параметрами:

- диаметром рабочего колеса;
- шириной проточной части;
- количеством и углом наклона лопастей;
- частотой вращения колеса;
- отношением внутреннего и наружного диаметров;
- геометрией входной и выходной частей и др.

Давление радиального вентилятора создается реакцией лопастей его рабочего колеса в результате преодоления ими силы инерции среды и центробежной силой, возникающей при вращении среды. При анализе воздействия лопастей колеса на среду получены зависимости для определения динамического и статического давлений, которые создаются при вращении лопастей и под воздействием центробежной силы. Сила воздействия лопастей на среду разделена на тангенциальную и радиальную составляющие. Первая из них действует в направлении окружной скорости колеса, повышает скорость движения среды и создает динамическое давление  $P_u$ , вторая направлена в радиальном направлении, практически мало изменяет скорость движения среды и создает статическое давление  $P_r$ . Центробежная сила, направленная радиально, также создает статическое давление  $P_{ц}$ .

При учете кориолисовой и центробежной сил, а также реакции лопастей получены идентичные зависимости для определения давления радиального нагнетателя [1, 2].

Динамическое и статическое давления, создаваемое лопастями колеса, и давление, создаваемое центробежной силой, на выходе из рабочего колеса определяются по формулам

$$P_{u2} = \frac{\rho(u_2^2 - u_1^2) \sin^2 \beta}{1 + \sin \beta \cdot \cos \beta}; \quad (1)$$

$$P_r = \frac{\rho (u_2^2 - u_1^2) \cos^2 \beta}{1 + \sin \beta \cdot \cos \beta}; \quad (2)$$

$$P_{u2} = \frac{\rho (u_2^2 - u_1^2)}{2} \left( \frac{\sin^2 \beta}{1 + \sin \beta \cdot \cos \beta} \right)^2, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность рабочей среды, кг/м<sup>3</sup>. Плотность воздуха принята при температуре 20 °С,  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;

$u_2, u_1$  – окружная скорость колеса на выходе и входе среды, м/с;

$\beta$  – угол наклона лопасти колеса, град.

Общее расчетное давление определяется суммой указанных составляющих

$$P_p = P_u + P_r + P_{u2}. \quad (7)$$

Найденные зависимости справедливы при отсутствии закручивания среды перед рабочим колесом, постоянном угле наклона лопастей по радиусу колеса и отсутствии потерь энергии на входе, выходе и внутри вентилятора. Кроме того, уравнения выведены с учетом струйной теории, исходя из бесконечного количества лопастей.

Окружную скорость колеса на входе и выходе определяли по формулам

$$u_1 = u_2 \frac{d_1}{d_2}, \quad (10)$$

$$u_2 = \pi d n / 60. \quad (9)$$

где  $d_1$  – диаметр рабочего колеса на входе, м;

$d_2$  – диаметр рабочего колеса на выходе, м;

При расчетах потерь давления в технологических трубопроводах широко используется формула

$$\xi = u_2 \frac{2\Delta P_p}{\rho u^2}, \quad (11)$$

где  $\Delta P_p$  – разность между расчетным и опытным давлениями, Па.

Разность давлений вентилятора определяли по формуле:

$$\Delta P_p = P_p - P_{on}, \quad (12)$$

где  $P_p$  и  $P_{on}$  – соответственно расчетное и опытное давление вентилятора, Па.

В настоящей работе предлагается использование коэффициента сопротивления для расчета потерь давления в радиальных вентиляторах, как это принято при расчете трубопроводов и циклонов. Для

сравнения выбраны вентиляторы ЦАГИ, имеющие постоянный угол наклона лопастей по радиусу колеса. Параметры вентиляторов заимствованы из справочника [3].

Результаты расчетов показали, что одному и тому же типу вентилятора соответствует постоянное значение коэффициента сопротивления, отличающееся от средней величины не более чем на 10%. Результаты расчетов по вышеприведенным формулам приведены в таблице.

**Результаты расчетов вентиляторов ЦАГИ**

Тип вентилятора	Коэффициент сопротивления $\xi$	Внутренний диаметр $d_1$ , мм	Ширина выходной щели $b$ , мм	Угол наклона лопастей $\beta$ , град	Число лопастей $z$
Ц 3-81	0,15	70	4	18	6
Ц 5-31	0,21	47	2	45	10
Ц 5-36	0,24	50,8	2	40	16
Ц 6-12	0,09	14,7	2,5	60	12

Как следует из таблицы, каждому номеру вентилятора с одинаковым углом наклона лопастей на входе и выходе соответствует определенный коэффициент сопротивления. Поэтому, зная тип вентилятора и его коэффициент сопротивления, можно определить создаваемое им действительное давление по формуле

$$P_0 = P_{p2} - P_{p1} - \Delta P. \quad (13)$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлечко, В.Н. К вопросу о теоретическом давлении радиального нагнетателя / В.Н.Павлечко, С.К.Протасов // ИФЖ. 2014. Том 87, № 6. С. 1448–1454.
2. Павлечко, В.Н. Влияние ускорения Кориолиса на напор радиального нагнетателя / В.Н.Павлечко // Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития: материалы международной научно-технической конференции, Минск, 27–29 ноября 2013 г. – Минск: БГТУ, 2013. С. 166–170.
3. Соломахова, Т.С. Центробежные вентиляторы. Аэродинамические схемы и характеристики: Справочник / Т.С.Соломахова, К.В.Чебышева // – М.: Машиностроение, 1980. – С. 60–105.

УДК 661.185

Студ. Р.А. Воронцов

Науч. рук. д.т.н., проф. Л.С. Ещенко  
(кафедра ТНВ и ОХТ, БГТУ)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДАМАСЛОЖИРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОЮЩЕГО СРЕДСТВА**

Утилизация отходов является одной из основных проблем современного производства. Существуют различные методы решения данной проблемы, одним из которых является использование вторичных материальных ресурсов.

Масложировая отрасль пищевой промышленности Республики Беларусь является большим источником разнообразных отходов. Одним из таких отходов являются отработанные адсорбенты, использовавшиеся в процессе отбеливания масла от различных пигментов и остатков фосфотидов и мыла после щелочной нейтрализации. В качестве адсорбентов применяются различные классы отбельных глин, содержащие в своем составе силикаты, алюмосиликаты и оксиды металлов [1]. Состав и свойства используемых адсорбентов изменяются в широких пределах.

Известно, что основными компонентами отработанного адсорбента являются оксиды алюминия и кремния, также адсорбированные жирные кислоты. В соответствии с этим, можно предположить некоторые пути использования отработанного адсорбента. Например, оксиды алюминия и кремния являются неорганическими наполнителями в составе резиновых смесей для различных резинотехнических изделий и картонов. Жирные кислоты, содержащиеся на поверхности адсорбента, являются вторичными активаторами вулканизации в составе резиновых смесей для резинотехнических изделий. Кроме того, соли жирных кислот являются известными поверхностно-активными веществами. Отработанный адсорбент, ввиду его состава и свойств, способен оказывать абразивное действие на обрабатываемую поверхность, которое обусловлено его нерастворимостью в воде и мягкостью. Следует отметить, что в настоящее время отработанный адсорбент вывозят на полигоны, вследствие чего его утилизация является актуальной проблемой.

Исходя из этого, целью работы на данном этапе явилось исследование возможности использования отработанного адсорбента масложировых предприятий, в частности ОАО «Минский маргариновый завод», как абразивного сырьевого компонента для получения моющего чистящего средства.



Абразивные материалы обеспечивают высокую степень очистки вследствие их механического воздействия на очищаемую поверхность. Распространенным абразивным материалом является измельченный кварцевый песок, который для предприятий бытовой химии Республики Беларусь закупается за рубежом.

Ранее на кафедре технологии неорганических веществ и общей химической технологии был разработан состав для безабразивных чистящих средств на основе солевой смеси - отхода предприятия ОАО «Белорусский металлургический завод» [2]. Задачами данной работы явились: 1) разработать рецептуру абразивного чистящего средства с использованием отработанного адсорбента; 2) отработать способ получения чистящего средства и наработать опытный образец; 3) исследовать свойства полученного образца.

Исследуемый отход представляет собой порошок светло-коричневого цвета, обладает запахом подсолнечного масла, достаточно мягок и жирен на ощупь, в воде не растворим. Согласно экспериментальным данным, фракционный состав отработанного адсорбента 106-500 мкм. Статическая адсорбционная емкость по парам воды и бензола практически отсутствует, что связано с наличием преимущественно крупных пор с объемом на уровне  $0,85 \text{ см}^3/\text{г}$  [1]. Сыпучесть отработанного адсорбента низкая, в связи с его комкованием.

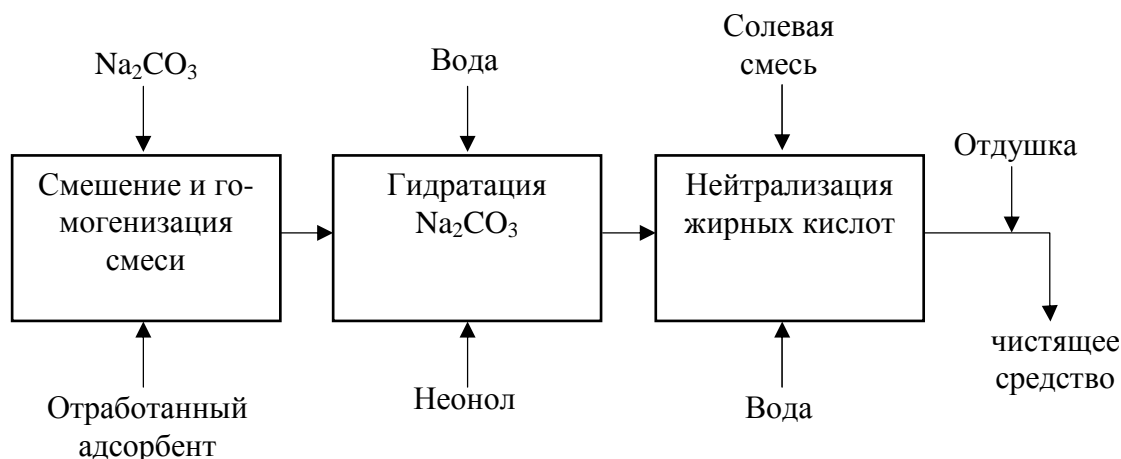
Исходными сырьевыми компонентами для получения чистящего средства явились: сода кальцинированная, солевая смесь состава, мас. %:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 55,0;  $\text{NaCl}$  – 30,0;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 2,0;  $\text{H}_2\text{O}$  – 13,0; ПАВ – неонол, вода, отработанный адсорбент.

На основании данных работы [2], была составлена рецептура моющего чистящего средства, содержащая отработанный адсорбент в качестве абразивной добавки. Данная рецептура представлена в таблице 1.

**Таблица 1 – Рецептура моющего чистящего средства**

Сырьевые компоненты и их содержание, мас. %				
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Отработанный адсорбент	Солевая смесь	$\text{H}_2\text{O}$	Неонол
51,07	12,77	25,53	8,67	1,96

Смешение указанных сырьевых компонентов производили в лабораторном блендере. Последовательность ввода компонентов представлена на схеме (рисунок 1), согласно которой был наработан опытный образец чистящего средства.

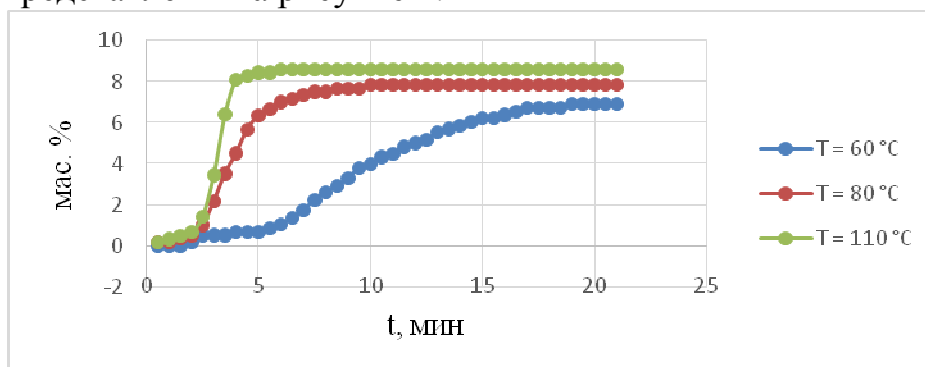


**Рисунок 1 – Схема получения чистящего средства**

Согласно представленной схеме, отработанный адсорбент смешивали с кальцинированной содой, затем подавали воду, в результате чего происходит гидратация соды и нейтрализация жирных кислот, адсорбированных на поверхности адсорбента. Введение влажной солевой смеси приводит к дальнейшему протеканию указанных процессов. После смешения всех компонентов образуется порошкообразный сыпучий продукт.

После получения опытного образца моющего чистящего средства был проведен комплекс исследований с целью определения фракционного состава, сыпучести и насыпной плотности, поверхностной активности, содержания свободной воды.

Зависимость потери массы образца от продолжительности нагрева представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2 - Зависимость потери массы образца от температуры и продолжительности**

Как видно из предоставленных экспериментальных данных, потеря массы образца зависит от температуры, что может свидетельствовать об отщеплении с повышением температуры не только свободной воды, но и кристаллизационной, которая входит в состав моногидрата карбоната натрия.

Характеристика полученного технического чистящего средства представлена в таблице 2.

**Таблица – 2 Характеристика чистящего средства**

Показатель	Значение
Фракционный состав:	
>1 мкм	0,48
>500 мкм	2,59
>106 мкм	54,64
>63 мкм	30,01
>50 мкм	9,07
>20 мкм	3,21
Сыпучесть, %	116,02
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,95
Поверхностная активность, мДж/м <sup>2</sup> ·(мас. %)	54,29

Анализ экспериментальных данных показывает, что полученное моющее чистящее средство обладает высокой сыпучестью, преимущественный размер образовавшихся агрегатов находится в интервале от 63-105 мкм. Исходя из значения поверхностной активности, равной 54,29 мДж/м<sup>2</sup>·(мас. %), можно судить об относительно высокой моющей и чистящей способности разработанного средства.

Полученные результаты позволяют заключить, что данный отход можно применить для получения моющих чистящих абразивных средств. Для разработки промышленного способа производства чистящих средств на основе отработанного адсорбента будут проводиться дальнейшие исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Глины с высокой удельной поверхностью для получения отбельных глин, а также способ активирования этих глин: пат. DE 2379104 / Шурц Клаус. Оpubл. 20.01.2010.

2 Моющее и чистящее средство: пат. ВУ 11807 / Л.С. Ещенко, Г.М. Жук, А.И. Сумич. Оpubл. 28.01.2009.

УДК 631.84

Маг. В.Г. Карчевская; студ. И.А. Борисевич  
Науч. рук. доцент А.Ф. Минаковский;  
доцент В.И. Шатило

(кафедра технологии неорганических веществ и общей химической технологии)

## **ЖИДКИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ NP И NPS УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДСОДЕРЖАЩИХ ВОДНО-СОЛЕВЫХ СИСТЕМ**

В последние годы мировое производство жидких комплексных удобрений (ЖКУ) стабильно растет. Продолжаются разработки новых композиций жидких комплексных удобрений на основе растворов мочевины, содержащих несколько питательных элементов.

В Республике Беларусь в настоящее время ОАО «Гродно Азот» в больших масштабах выпускает жидкие азотные удобрения КАС и планирует наращивать их выпуск. Разработка новых видов концентрированных жидких азотсодержащих удобрений, имеющих в своем составе фосфор и серу, позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции и значительно увеличит спрос на нее.

Азотно-фосфорные серосодержащие удобрения являются новым видом ЖКУ. На обедненных серой почвах применение таких удобрений будет способствовать повышению урожайности и улучшению качества сельскохозяйственной продукции, а также снижению использования пестицидов, содержащих серу. Кроме того, фосфатсодержащие растворы обладают ингибирующим действием по отношению к углеродистым сталям, что позволяет предположить, что такие жидкие удобрения будут обладать невысокой коррозионной активностью.

Для разработки расширенного ассортимента жидких удобрений необходимо изучить растворимость систем, содержащих помимо азота и иные питательные элементы, при температурах 0<sup>0</sup>С и более низких.

Так как в литературных источниках данные о растворимости в системах «карбамид-сульфат аммония-дигидрофосфат аммония-вода» и «карбамид-нитрат аммония-дигидрофосфат аммония-вода» при 0<sup>0</sup>С отсутствуют, то целью исследования явилось изучение растворимости в вышеперечисленных четырехкомпонентных водно-солевых системах при 0<sup>0</sup>С.

На первом этапе работы авторами были проведены исследования фазового состояния системы  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  при 0<sup>0</sup>С. Солевой состав жидкой фазы системы, а также литературные данные представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Растворимость в системе  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$  при  $0^\circ\text{C}$**

Точка	Система	Содержание солевых компонентов в жидкой фазе, масс. %				Состав твердой фазы по данным РФА	Содержание питательных элементов N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :S % масс. (суммарное содержание)
		$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	$\text{H}_2\text{O}$		
К	* $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	29,5	28,2	-	42,3	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	19,7:0:6,8 (26,6)
М	* $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	35,9	-	12,3	51,8	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	18,3:7,6:0 (25,8)
Н	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	-	37,9	5,7	56,3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	8,7:3,5:9,2 (21,4)
Е	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	28,2	28,2	3,6	40,0	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	19,6:2,2:6,8 (28,6)
1	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	34,9	6,3	9,1	49,7	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	18,7:5,6:1,5 (25,9)
2	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	33,6	14,0	7,3	45,1	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	19,5:4,5:3,4 (27,4)
3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	31,7	19,2	5,4	43,7	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	19,5:3,3:4,7 (27,5)
4	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	5,5	38,6	5,2	50,7	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	11,4:3,2:9,4 (24,0)
5	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	11,1	33,7	4,5	50,7	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	12,9:2,8:8,2 (23,8)
6	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$	19,8	29,3	4,3	46,6	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	16,0:2,7:7,1 (25,7)

\* - литературные данные

Изотерма имеет простой эвтонический тип. В тройной точке раствор насыщен относительно всех трех компонентов системы. Установлено отсутствие кристаллизации новых фаз. Как видно из таблицы растворимости жидкая фаза изучаемой системы содержит большое количество воды, что обусловлено относительно низкой растворимостью дигидрофосфата аммония при  $0^\circ\text{C}$ .

Наиболее концентрированными жидкими NPS удобрениями в этой системе являются составы соответствующие эвтонической точке Е (марка 19,6:2,2:6,8) и точкам 2 и 3 (марки 19,5:4,5:3,4 и 19,5:3,3:4,7 соответственно). Повышение содержания дигидрофосфата аммония в составе жидких удобрений приводит к значительному увеличению водной координаты, что обуславливает получение разбавленных растворов, которые не могут быть использованы в качестве базовых ЖКУ. Однако данные по растворимости могут быть использованы агропроизводителями при приготовлении растворов низких концентраций с любым соотношением питательных элементов непосредственно перед внесением.

На втором этапе работы авторами была изучена растворимость в системе  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{NO}_3\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$  при  $0^\circ\text{C}$  и наряду с литературными данными представлена в таблице 2.

**Таблица 2 – Растворимость в системе  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{NO}_3\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$  при  $0^\circ\text{C}$**

Точка	Состав системы	Содержание солевых компонентов в жидкой фазе, масс. %				Состав твердой фазы по данным РФА	Соотношение питательных элементов N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % масс. (суммарное содержание)
		$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	$\text{H}_2\text{O}$		
1	2	3	4	5	6	7	8
К	* $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{NO}_3\text{-H}_2\text{O}$	36,5	45,5	-	18	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{NO}_3$	32,9:0 (32,9)
Н	* $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$	35,9	-	12,3	51,8	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	16,8:7,6 (24,4)
М	* $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$	-	51,2	1,5	47,3	$\text{NH}_4\text{NO}_3$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	17,9:0,9 (18,8)
Е	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{NO}_3\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$	35,4	43,8	0,7	20,1	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	31,9:0,4 (32,3)
1	$\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$	36,4	5,1	10,4	48,1	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	18,8:6,4 (25,2)
2	$\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$	36,0	11,4	9,1	43,5	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	20,8:5,6 (26,4)
3	$\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$	35,1	16,9	6,9	41,1	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	22,3:4,3 (26,6)
4	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-NH}_4\text{NO}_3\text{-H}_2\text{O}$	10,2	58,0	1,3	30,5	$\text{NH}_4\text{NO}_3$ , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	25,1:0,8 (25,9)

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
5	$CO(NH_2)_2$ - $NH_4H_2PO_4$ - $NH_4NO_3$ - $H_2O$	14,3	56,4	1,1	28,2	$NH_4NO_3$ $NH_4H_2PO_4$	26,4:0,7 (27,1)
6	$CO(NH_2)_2$ - $NH_4H_2PO_4$ - $NH_4NO_3$ - $H_2O$	18,4	52,3	0,9	28,4	$NH_4NO_3$ $NH_4H_2PO_4$	26,9:0,6 (27,4)

\* - литературные данные

В системе не обнаружено новых кристаллических фаз. Наиболее концентрированными жидкими двухкомпонентными удобрениями в этой системе могут быть выбраны составы точек Е и 6 (таблица 2), которым соответствуют марки 32:0,4 (суммарное содержание питательных элементов 32,4 % масс.) и 27:0,6 (суммарное содержание питательных элементов 27,6 % масс.). В то же время максимальное содержание  $P_2O_5$  в насыщенной по солям жидкой фазе наблюдается в точках N (марка 17:7,5; суммарное содержание питательных элементов 24,5 % масс.), т. 1 (марка 19:6,4; суммарное содержание питательных элементов 25,4 % масс.) и т. 2 (марка 21:5,5; суммарное содержание питательных элементов 26,5 % масс.).

Данные о фазовых равновесиях в изученных системах будут использованы для разработки новых видов и составов жидких NP и NPS удобрений, определения условий их получения и хранения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый В.И. Синтез и применение карбамида/ В.И. Кучерявый, В.В. Лебедев// Изд-во: «Химия», 1953. – С. 28-31.
2. Коган В.Б. Справочник по растворимости тройных многокомпонентных систем/ В.Б. Коган, В.М. Фридман, В.В. Кафаров// Москва: Изд-во Академии наук СССР. 1963, Т. 2. Кн. 1. – С.364.
3. Дашко, Н.С. Перспективные составы серосодержащих жидких азотных удобрений / Н.С. Дашко, А.Ф. Минаковский // Международная междисциплинарная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Science and Scientists”. – Днепропетровск, 2015. – С. 197-200.
4. Дашко, Н.С. Прогнозирование марок серосодержащих жидких азотных удобрений / Н.С. Дашко, Н.И. Зубко, А.Ф. Минаковский // 69-я всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. – Ярославль, 2016. – С.109-112.

УДК 678.024

маг. А.П. Васеха

Научн. рук.: доц. О. И. Карпович  
(кафедра механики и конструирования)

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЯЗКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ОАО «БЕЛЦВЕТМЕТ»**

**Введение.** Одно из основных направлений государственной политики Республики Беларусь относительно вопросов экологической безопасности – развитие технологий переработки отходов. Так, одним из перспективных экологических проектов, реализованных в ОАО «Белцветмет», является переработка отработавших автомобильных аккумуляторных батарей и кабельной продукции. Количество образующихся отходов составляет более 400 т в год, большая часть которых вывозится на полигоны твердых бытовых отходов и предприятие вынуждено оплачивать экологический налог. Использование образующихся отходов позволит во-первых, существенно снизить объемы захоронения твердых бытовых отходов на полигонах и, во-вторых, получить относительно дешевое сырье для производства новых изделий.

Для расчёта основных параметров технологического процесса, а также для проектирования средств специального технологического оснащения, необходимы сведения о технологических характеристиках композиций на основе отходов. К одним из основных технологических характеристик композиций относится параметры степенного закона течения.

**Цель** исследования – определение вязких свойств композиций на основе отходов и изучение влияние на них состава.

**Основная часть.** В ОАО «Белцветмет» образуются металлсодержащие смешанные полимерные отходы, которые условно можно разделить на три типа [1]:

- 1) отходы, которые образуются в результате разделки корпусов аккумуляторных батарей (далее КАБ);
- 2) полимерсодержащие отходы, которые образуются в результате разделки внутренней части аккумуляторных батарей (далее ПОАБ);
- 3) отходы, которые образуются в результате разделки кабельной продукции (далее ПОКБ).

Параметры степенного закона течения расплава оценивали по методу сжатия диска между плоскопараллельными плитами [2], [3]. Степенной закон течения принимали в виде:



$$\tau = \mu \dot{\gamma}^n, \quad (1)$$

где  $\tau$  – касательное напряжение;  $\mu$  – коэффициент консистенции (вязкость);  $\dot{\gamma}$  – скорость сдвига;  $n$  – показатель степени в законе течения.

Образцы в виде дисков диаметром  $(45 \pm 2)$  мм и толщиной  $((6-9) \pm 0,5)$  мм вырезали из плит, отпрессованных из пластицированной композиции.

По значениям усилия, начальным размерам образца и его толщине как функции времени находили параметры  $\mu$ ,  $n$  и  $\tau_0$ . При расчете показателей принимали условие полного прилипания материала на границе. За условный предел текучести принимали наибольшее касательное напряжение (на периферии диска), при котором достигалось квазиравновесное состояние. Находили зависимость вязкопластических свойств материалов от температуры. По значениям коэффициента консистенции в исследованном диапазоне температур вычисляли параметры температурной зависимости коэффициента консистенции в форме закона Аррениуса [3]:

$$\mu = \mu_0 \exp(E_a / RT) \quad (2)$$

где  $\mu_0$  – константа вязкости материала;  $E_a$  – энергия активации;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – термодинамическая температура.

Условный предел текучести  $\tau_0$  композиций определяли по конечным (квазиравновесным) значениям толщины  $h$  дисков объемом  $V$ , сжимаемых усилием  $F$  между плоско-параллельными плитами, согласно формуле:

$$\tau_0 = \frac{Fh}{2V} \left( 1 + \frac{1}{3\sqrt{\pi h}} \sqrt{\frac{V}{h}} \right)^{-1} \quad (3)$$

Значения параметров степенного закона течения композиций, приведенные выше, определяются при температуре плит выше температуры плавления матричного полимера. Следовательно, их можно использовать для расчета параметров процессов, протекающих при температурах выше температуры плавления, например, для расчета процесса пластикации в червячном экструдере.

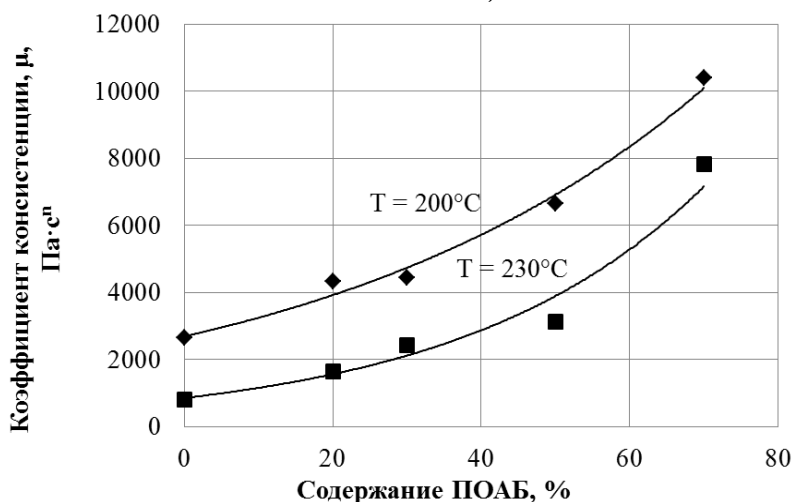
При прессовании деформирование накопленной заготовки осуществляется при температурах формообразующих поверхностей существенно ниже температуры плавления, поэтому для расчета данного процесса нельзя использовать параметры закона течения, полученные при температуре плит выше температуры плавления.

Чтобы получить параметры закона течения для расчета процесса деформирования заготовки в процессе прессования, использовали два комплекта плоскопараллельных плит. Один для нагрева образцов до температуры заготовки (200 °С и 230 °С), а второй для записи зависимости толщины образца от времени. Температуру плит второго комплекта задавали ниже температуры плавления (20, 50 и 80 °С). Параметры закона течения  $\mu$ ,  $n$  и  $\tau_0$ , при этом оценивали по методике, описанной выше. Следует отметить, что процесс деформирования протекает при неизотермических условиях (температура образца снижается до температуры формообразующих плит), т.е. в процессе эксперимента параметры закона течения изменяются. Таким образом в эксперименте получаем некоторые осредненные значения  $\mu$ ,  $n$  и  $\tau_0$ .

Значения параметров степенного закона течения расплавов композиций КАБ+ПОАБ и КАБ+ПОКБ приведены в таблице 1. Из данных таблицы видно, что коэффициент консистенции возрастает с увеличением содержания ПОАБ. При содержании 70% масс. ПОАБ коэффициент консистенции увеличивается практически в три раза. С увеличением температуры коэффициент консистенции снижается. На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента консистенции от массового содержания ПОАБ.

**Таблица 1 – Параметры степенного закона течения для композиций КАБ+ПОАБ**

Параметр		КАБ	КАБ+20% ПОАБ	КАБ+30% ПОАБ	КАБ+50% ПОАБ	КАБ+70% ПОАБ	КАБ+30% ПОКБ	КАБ+50% ПОКБ	КАБ+70% ПОКБ
Коэффициент консистенции, $\mu$ , кПа·с <sup>n</sup>	200°С	2,6	4,3	4,4	6,6	10,3	4,8	5,4	7,5
	230°С	0,8	1,6	2,4	3,1	7,8	3,3	3,6	5,7
Показатель степени в зако- не течения, $n$	200°С	0,93	0,86	0,80	0,61	0,30	0,91	0,66	0,49
	230°С	0,92	0,86	0,79	0,56	0,30	0,84	0,59	0,41
Условный пре- дел текучести, $\tau_0$ , кПа	200°С	1,0	1,3	1,4	2,4	4,4	1,2	1,3	2,1
	230°С	0,6	1,0	1,2	1,7	3,6	1,1	1,2	2,0
Энергия активации процесса вязкого течения, $E_a$ , кДж/моль		77,9	64,1	39,8	50,1	18,6	35,5	39,8	26,2
Константа вязкости материала, $\mu_0$ , Па·с <sup>n</sup>		$6,6 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	0,2	0,02	90,7	0,57	0,22	9,62



**Рисунок 1 – Зависимость коэффициента консистенции от содержания ПОАБ**

Показатель степени в законе течения практически не зависит от температуры, но существенно зависит от степени наполнения ПОАБ. С увеличением степени наполнения показатель степени снижается. Условный предел текучести возрастает с увеличением содержания ПОАБ и снижается с увеличением температуры.

В целом для композиций КАБ+ПОКБ соблюдаются такие же зависимости, как и для композиций КАБ+ПОАБ.

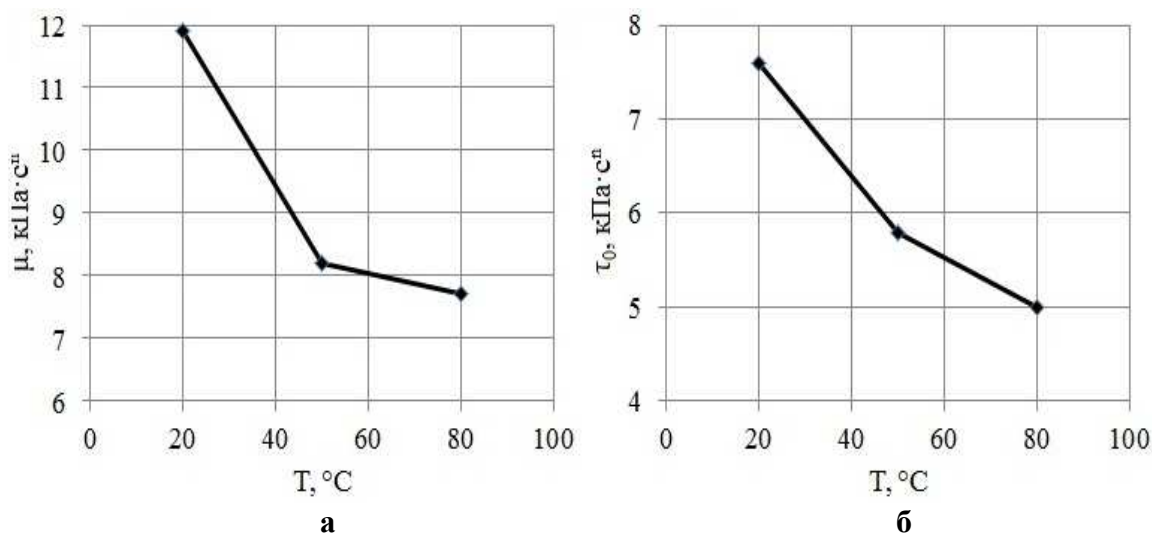
Осредненные значения параметров степенного закона течения, полученные при деформировании композиций между плитами с температурой ниже температуры плавления, представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Параметры степенного закона течения композиции КАБ+50%ПОАБ при сжатии между плитами в зависимости от температуры плит**

Температура плит, °C	Параметры закона течения при начальной температуре композиции 200 °C		
	$\mu$ , кПа·с <sup>n</sup>	$n$	$\tau_0$ , кПа
20	11,9	0,09	7,6
50	8,2	0,08	5,8
80	7,7	0,09	5,0

Из анализа данных таблицы 2 видно, что средние значения коэффициента консистенции при деформировании между плитами при 20 °C на 50–70% выше чем параметр, определенный при температурах плит с температурой выше температуры плавления. Показатель степени существенно ниже и лежит в пределах 0,1–0,2. Условный предел текучести в среднем в 2,5–3 раза выше.

Осредненные значения коэффициента консистенции и условного предела текучести зависят от температуры плит, между которыми происходит деформирование. С ее увеличением данные показатели уменьшаются (см. рисунок 2).



**Рисунок 2 – Зависимость осредненных значений коэффициента консистенции (а) и условного предела текучести (б) от температуры плит (начальная температура композиции 200 °С)**

**Заключение.** Данные в таблице 1 можно использовать для расчета процессов вязкого течения при изотермических условиях, например, – пластикация в червячном экструдере, а данные таблицы 2 для расчета процессов вязкого течения при неизотермических условиях, например, – прессование заготовки. А также использовать для расчета параметров технологического процесса получения изделий из отходов ОАО «Белцветмет».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, О. И. Состав и структура полимерсодержащих отходов ОАО «Белцветмет» / О. И. Карпович, М. М. Ревяко, Е. З. Хрол, А. В. Дубина // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. № 4 (177). – Мн.: БГТУ, 2015. – С. 74–77.
2. Карпович, О. И. Формообразование изделий из композиционных материалов. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-36 01 08 «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов» / О. И. Карпович. – Минск: БГТУ, 2014. – 111 с.
3. Ставров, В. П. Формообразование изделий из композиционных материалов. / В.П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.

УДК 531

Студ. Ковалевский А. С.  
 Науч. рук. проф. Вихренко В. С.  
 (кафедра механики и конструирования, БГТУ)

### КИНЕМАТИКА ПРИВОДА КАТЯЩЕГОСЯ КОЛЕСА

Задача о приводе катящегося без проскальзывания колеса (рис. 1) легко решается, когда нить АВ параллельна плоскости, по которой перемещается колесо 2. В этом случае передаточное отношение от колеса 1 к колесу 2 постоянно и равно  $r/2R$ , где  $r$  и  $R$  – радиусы колес 1 и 2, соответственно. Задача существенно усложняется, если нить не параллельна плоскости, как изображено на рис. 1.

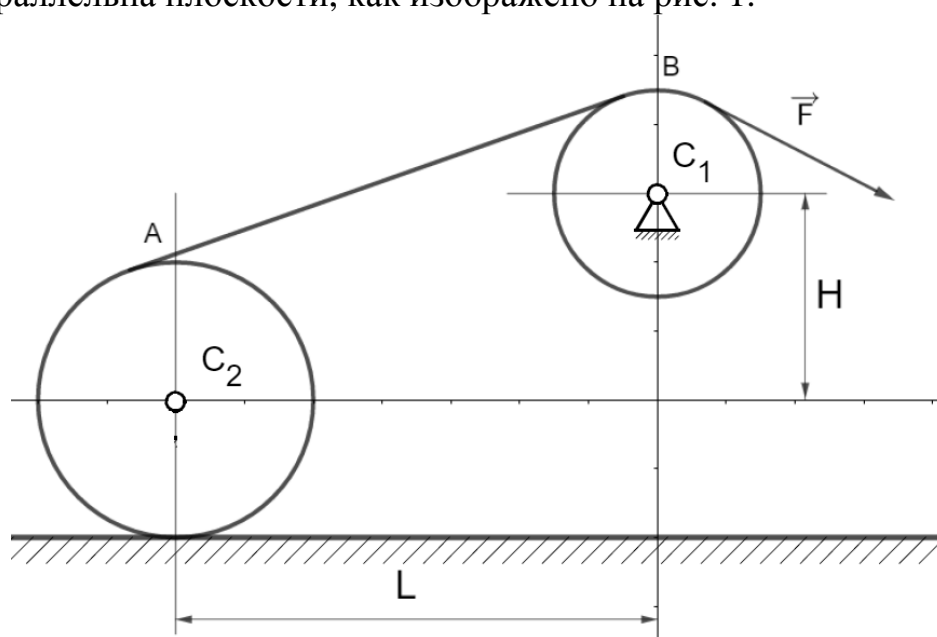


Рисунок 1 – Схема привода катящегося колеса

Пусть начальная геометрия системы определяется расстояниями  $L$  и  $H$  между проекциями центров колес на горизонтальную плоскость и вертикаль, соответственно. Для упрощения решения задачи нить в исходной схеме заменим достаточно длинной рейкой (рис. 2), что при условии отсутствия проскальзывания между дисками и рейкой не изменит кинематику качения колеса 2.

Первоначально используем метод замкнутых контуров [1]. Пусть рейка наклонена под углом  $\beta$  к горизонту. Проведем радиусы в точки касания рейки с окружностями. Данные радиусы составляют с горизонтом угол  $\varphi$ . Тогда  $\beta = \frac{\pi}{2} - \varphi$ .

Пусть отрезок АВ на рейке, отсекаемый точками касания, имеет длину  $l$ . Спроецировав контур  $C_1OC_2AB$  на горизонтальную и вертикальную оси, получим систему уравнений (1), исключив из которой тригонометрические функции, получим выражение (2)

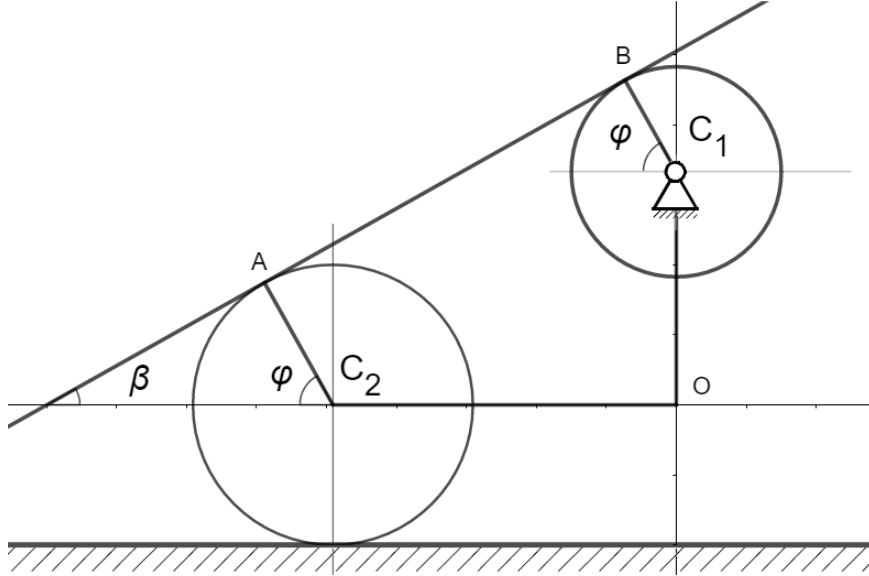


Рисунок 2 – Модифицированная схема привода катящегося колеса

$$\begin{cases} L = l \cos \beta - (R - r) \sin \beta, \\ H = l \sin \beta + (R - r) \cos \beta \end{cases} \quad (1)$$

$$l^2 = L^2 + H^2 + (R - r)^2. \quad (2)$$

Пусть через некоторое время  $\Delta t$  диски 1 и 2 совершат повороты на углы  $\Delta\phi_1$  и  $\Delta\phi_2$ , соответственно, по ходу часовой стрелки. При этом рейка повернется на угол  $\Delta\beta$  против хода часовой стрелки, что вызовет смещение точек касания.

Длина отрезка на рейке, отсекаемого точками касания, составит

$$l_1 = l - r(\Delta\phi_1 + \Delta\beta) + R(\Delta\phi_2 + \Delta\beta). \quad (3)$$

Это основное соотношение, позволяющее связать повороты колес и рейки. Продифференцировав это уравнение по времени, учитывая, что  $l$ ,  $r$  и  $R$  – заданные исходные величины (константы), получим

$$\dot{l}_1 = -r(\omega_1 + \omega_3) + R(\omega_2 + \omega_3) \quad (4)$$

где  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  и  $\omega_3$  – угловые скорости колес 1, 2 и рейки, соответственно.

Обозначим изменившуюся длину  $L$  через  $L_1$ . Тогда выражение (1) принимает вид:

$$\begin{cases} L_1 = l_1 \cos(\beta + \Delta\beta) - (R - r) \sin(\beta + \Delta\beta) \\ H = l_1 \sin(\beta + \Delta\beta) + (R - r) \cos(\beta + \Delta\beta) \end{cases} \quad (5)$$

Отметим, что система уравнений (3), (5) совместно с соотношением  $L_1 = L - R\Delta\varphi_2$  позволяют найти закон движения колеса 2  $\Delta\varphi_2 = f(\Delta\varphi_1)$ .

Дифференцирование этих соотношений по времени приводит к зависимостям

$$\begin{cases} \dot{L}_1 = \dot{l}_1 \cos(\beta + \Delta\beta) - l_1 \sin(\beta + \Delta\beta)\omega_3 - (R - r) \cos(\beta + \Delta\beta)\omega_3 \\ 0 = \dot{l}_1 \sin(\beta + \Delta\beta) + l_1 \cos(\beta + \Delta\beta)\omega_3 - (R - r) \sin(\beta + \Delta\beta)\omega_3 \end{cases} \quad (6)$$

Исключая из правых частей этих уравнений тригонометрические функции, запишем

$$\dot{L}_1 \cos(\beta + \Delta\beta) = \dot{l}_1 - \omega_3(R - r). \quad (7)$$

Подставим в это соотношение  $\dot{L}_1$  из выражения (4), учитывая, что  $\dot{L} = -R\omega_2$ , и переходя к пределу  $\Delta t \rightarrow 0$ , для исходной геометрии механизма получим искомую связь между угловыми скоростями:

$$\omega_2 = \frac{r}{R} \frac{1}{1 + \cos\beta} \omega_1. \quad (8)$$

Продифференцировав полученное выражение по времени, для углового ускорения диска 2 найдем.

$$\varepsilon_2 = \frac{r}{R} \frac{1}{1 + \cos\beta} \varepsilon_1 + \frac{r}{R} \frac{\sin\beta}{1 + \cos\beta} \omega_1 \omega_3. \quad (9)$$

Угол  $\beta$  находим из системы уравнений (1), исключив из нее длину  $l$  и решив полученное квадратное уравнение относительно  $\sin\beta$ :

$$\sin\beta = \frac{L(R - r)}{L^2 + H^2} \left[ \sqrt{1 + \frac{L^2 + H^2}{L^2} \left( \frac{H^2}{(R - r)^2} - 1 \right)} - 1 \right]. \quad (10)$$

Дифференцирование соотношения (2) по времени с учетом (4) и того, что  $\dot{L} = -R\omega_2$ , позволяет определить угловую скорость рейки

$$\omega_3 = \frac{r}{l} \frac{\sin\beta}{1 + \cos\beta} \omega_1 = \frac{r}{l} \omega_1 \operatorname{tg}(\beta/2). \quad (11)$$

Соотношения между угловыми скоростями, но не закон движения колеса 2, можно получить более простым способом, используя теорию плоско-параллельного движения [2]. На рисунке 3 показано

распределение скоростей точек механизма. Условие отсутствия проскальзывания состоит в том, что соприкасающиеся точки разных звеньев механизма имеют одинаковые скорости. Скорость точки А определяется из условия ее принадлежности колесу 2 по теореме сложения скоростей:

$$\mathbf{v}_A = \mathbf{v}_{C_2} + \mathbf{v}_{AC_2}, \quad v_{C_2} = v_{AC_2} = \omega_2 R. \quad (12)$$

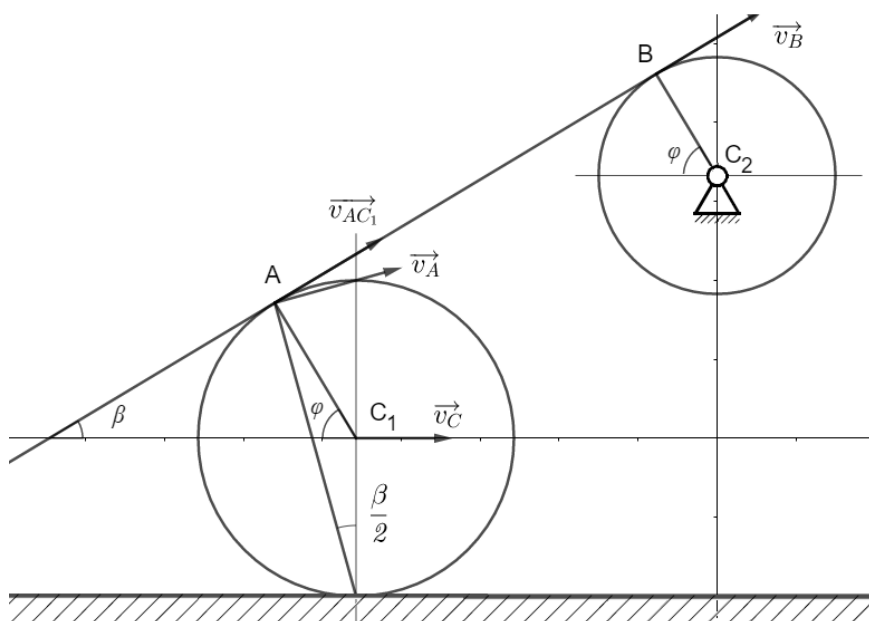


Рисунок 3 – Распределение скоростей точек механизма

Используя далее теорему о равенстве проекций скоростей точек А и В на прямую, их соединяющую, запишем

$$v_{C_2} \cos \beta + v_{AC_2} = v_B = \omega_1 r, \quad (13)$$

откуда сразу же следует соотношение (8).

Для получения соотношения (11), определяющего угловую скорость рейки, следует построить ее мгновенный центр скоростей. После очевидных геометрических вычислений получим второе из соотношений (11). Для определения закона движения колеса 2 можно проинтегрировать дифференциальное уравнение (8) с учетом уравнения связи (10) или воспользоваться системой уравнений (3) и (5).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зиновьев В.А. Курс теории механизмов и машин. – М.: Наука, 1975. – 204 с.
2. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 1990. – 607 с.



УДК 669

Студ. И.А. Черник

Науч. рук. : зав. кафедрой, доц., канд. хим. наук А.А. Черник;

асп. А.В. Пянко

(кафедра химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники, БГТУ)

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ СПЛАВА Ni-Sn-TiO<sub>2</sub>**

По данным европейских ученых 15% всех инфекций передаются через поверхности общего назначения (поручни, ручки дверей и т.д.) в общественных местах. Таким образом, создание покрытий, обладающих антимикробными самоочищающимися свойствами позволит решить проблему дезинфицирования и обеззараживания таких поверхностей.

Структурированный диоксид титана обладает высокими фотокаталитическими свойствами для деструкции токсичных органических и неорганических соединений при действии дневного света или слабого ультрафиолета.

Нанесение и закрепление на поверхности наноструктурированного диоксида титана обеспечит последние высокие антибактериальные свойства. Для закрепления на поверхности диоксида титана могут использоваться гальванические покрытия. Матрицей – основой для наноразмерного диоксида титана может выступать электрохимический сплав олово-никель. Гальваническое покрытие олово-никель имеет ряд достоинств: высокая твердость и износостойкость, декоративный вид, простота эксплуатации, возможность использования как подслоя под покрытия драгметаллами, паяемость.

Кроме того данный сплав в отличие от никеля не обладает аллергической реакцией к человеческой коже.

Наиболее перспективным является сплав Ni-Sn с содержанием никеля около 35 ат. %.

Для электрохимического осаждения покрытий Ni-Sn наиболее часто используют слабощелочные пирофосфатные или слабокислые фторидно-хлоридные электролиты.

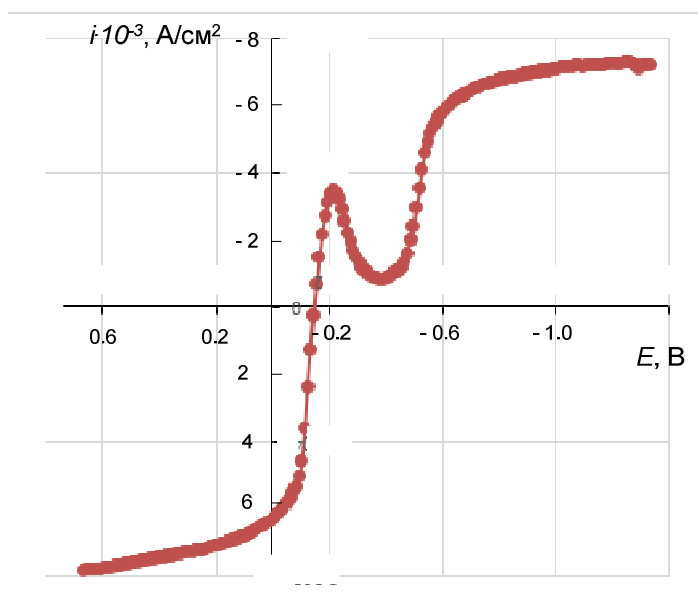
Наиболее устойчивые золи диоксида титана существуют в растворах с низким значением pH. Поэтому для осаждения сплава был выбран хлоридно-фторидный электролит содержащий ионы никеля и олова позволяющий получать сплав Sn-Ni с содержанием олова 60-65 ат. % при pH = 2÷3. Для данного электролита важным является обязательное поддержание pH в заданном диапазоне поскольку вслед-

ствие выделения  $H_2$  при высокой плотности тока наблюдается повышение рН электролита в прикатодной области, что приводит к ускорению гидролиза соединений олова (II) и пассивация растущей поверхности.

Для придания поверхности антибактериальных свойств в электролит нанесения сплава олово-никель вводят наночастицы золя  $TiO_2$ . Наночастицы  $TiO_2$  обладают способностью поглощать видимый свет и имеют повышенную фотокаталитическую активность [1, 2].

Анализ поляризационных кривых в электролите осаждения сплава в присутствии диоксида титана показал, что катодный процесс наблюдается при потенциалах катоднее -0,15 В. На катодной ветви поляризационной кривой наблюдается пик при потенциалах отрицательнее -0,2 В (рис. 1) что, по всей видимости, может быть связан с процессом выделения водорода в присутствии золя диоксида титана. Осаждение сплава Sn-Ni наблюдается при потенциалах катоднее -450 мВ.

При потенциалах отрицательнее -600 мВ сплав выделяется при предельном токе диффузии, равном  $-8 \text{ mA/cm}^2$ . При записи второго цикла вольтамперной кривой плотность катодного тока совместного выделения металлов возрастает и предельный ток диффузии значительно увеличивается, что свидетельствует о меньшем перенапряжении совместного выделения металлов на сплаве, чем на меди.



**Рисунок 1 – Катодные поляризационные кривые  
Cu электрода в растворе  $NiCl_2$ - 300,  $SnCl_2$  -50,  $NH_4F$  – 70  
в присутствии 2 г/л золя  $TiO_2$**

Введение золя диоксида титана в раствор получения сплава приводит к смещению катодной поляризационной кривой в электроположительную сторону и промотирует процесс выделения водорода.

В ходе исследования было установлено, что характер и свойства поверхности сплава зависят от плотности тока при осаждении. Так, при плотностях тока выше  $1 \text{ А/дм}^2$  композиционные покрытия имеют черный цвет и матовую текстуру. При плотностях тока  $0,5-0,7 \text{ А/дм}^2$  покрытия – полуматовые и при  $0,1-0,4 \text{ А/дм}^2$  – плотные блестящие.

Температура также является важнейшим фактором получения качественного покрытия. Так, при температуре ниже  $50^\circ\text{C}$  покрытия получаются неплотные, рыхлые, отсутствует адгезия покрытия с металлической подложкой, а при температурах выше  $70^\circ\text{C}$  происходит подгар покрытий. Таким образом, оптимальным температурным режимом является  $50-70^\circ\text{C}$ .

Результаты исследования полученного покрытия методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с системой микроанализа представлены в таблице.

Как следует из экспериментальных данных, присутствие диоксида титана при концентрации  $0,5 \text{ г/л}$  не приводит к изменению состава сплава. Однако при увеличении концентрации до  $2 \text{ г/л}$  происходит рост количества никеля до  $40 \text{ ат. \%}$ .

**Таблица – Состав сплава, полученного из электролита с  $\text{TiO}_2$**

	Содержание компонентов сплава, ат.%				
	№1	№2	№3	№4	№5
Ni	35.2451	34.7069	43.4559	90.8966	40.5007
Sn	64.3294	63.5223	56.5441	7.3860	58.6382
Fe	0.4255			0.6586	0.8611
Cu		1.7708		1.0588	
№1 – Sn-Ni, Cu, $i = 0,2 \text{ А/дм}^2$ ; №2 – Sn-Ni + $0,5 \text{ г/л TiO}_2$ , сталь, $i = 0,2 \text{ А/дм}^2$ ; №3 – Sn-Ni + $1 \text{ г/л TiO}_2$ , Cu, $i = 0,2 \text{ А/дм}^2$ ; №4 – Sn-Ni + $1,5 \text{ г/л TiO}_2$ , Cu, $i = 0,2 \text{ А/дм}^2$ ; №5 – Sn-Ni + $2 \text{ г/л TiO}_2$ , Cu, $i = 0,2 \text{ А/дм}^2$					

Присутствие в растворе золь диоксида титана приводит к образованию на поверхности глобулярных структур, которые постепенно выравниваются при увеличении содержания диоксида титана в растворе с  $0,5$  до  $2 \text{ г/л}$ .

Результаты коррозионных испытаний покрытий Ni-Sn- $\text{TiO}_2$  в камере солевого тумана показали, что все они выдержали более  $65$  часов

в камере без изменения структуры и внешнего вида. Следует отметить, что испытания покрытий на стальной подложке показали, что применение такой подложки целесообразно при нанесении сплава более 9 мкм. Это связано с небольшой пористостью данных покрытий и вследствие чего коррозией основы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Савинов Е. Н. Фотокатализ окислительно-восстановительных реакций в водных растворах с участием дисперсных металлов и полупроводников. дисс... док. хим. наук. Новосибирск, 1993. 344 с.

2. Воронцов А. В. Гетерогенная фотокаталитическая окислительная деструкция углеродсодержащих соединений на чистом и платинированном диоксиде титана. дисс... док. хим. наук. Новосибирск, 2009. 317 с.

УДК 669

Студ. И.А. Черник

Науч. рук.: зав. кафедрой, доц., канд. хим. наук А.А. Черник;  
асп. А.В. Пянко

(кафедра химии, технологии электрохимических производств  
и материалов электронной техники, БГТУ)

## КОРРОЗИОННЫЕ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Ni-Sn-TiO<sub>2</sub>

Данная работа посвящена исследованию коррозионных и антибактериальных свойств композиционного покрытия Ni-Sn-TiO<sub>2</sub>. Применение данного покрытия для поверхностей общего доступа (поручни, ручки и т.д.) в общественных местах позволит в достаточной степени решить проблему их дезинфицирования и обеззараживания.

Коррозионное поведение покрытий Ni-Sn, в растворе серной кислоты показывает, что окисления сплава не происходит вплоть до потенциала 1600 мВ. Второй пик анодного окисления при более высоком значении потенциала обусловлен окислением обнажившейся меди, о чем свидетельствует кривая поляризации медного электрода в этом же растворе.

Анализ поведения сплава на основе Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> в растворе хлорида натрия показывает, что в области, начиная от потенциала погружения и до 500 мВ, окисления сплава не происходит. Совершенно иным образом ведет себя сплав с повышенным содержанием олова: наблюдаются два анодных пика с максимумами при потенциалах 68 и 592 мВ с

высокими значениями тока. Появление этих пиков, по всей видимости, обусловлено двухступенчатым окислением олова до Sn(II), а затем до Sn(IV).

Введение золя диоксида титана в электролит получения сплава приводит к смещению катодной поляризационной кривой в электроположительную сторону и промотирует процесс выделения водорода. Присутствие диоксида титана при концентрации 0,5 г/л не приводит к изменению состава сплава. Однако, при увеличении концентрации до 2 г/л происходит рост количества никеля до 40 ат. %.

Характер микрорельефа также изменяется присутствие в растворе золь диоксида титана приводит к образованию на поверхности глобулярных структур которые постепенно выравниваются при увеличении содержания диоксида титана в растворе с 0,5 до 2 г/л.

Покрyтия сплавом Ni-Sn, а также композиционные покpытия Ni-Sn-TiO<sub>2</sub> были подвергнуты коррозионным испытаниям в камере солевого тумана. Все покpытия выдержали более 65 часов в камере без изменения структуры и внешнего вида.

При использовании стали в качестве подложки необходимо осаждать сплав толщиной более 9 мкм. Это связано с небольшой пористостью данных покpытий и вследствие чего коррозией основы.

Для определения антибактериальных свойств образцы с покpытием Ni-Sn-TiO<sub>2</sub> на медной основе подвергались исследованию по следующей методике [1-2]:

1. предварительно образцы промываются в дистиллированной воде в течение 10 минут 2 раза;
2. помещаются в физиологический раствор для дальнейшей промывки в течение 2 часов;
3. на сутки образцы помещаются в питательную среду для последующей микробиологической диагностики;
4. на поверхность наносится штамм бактерий и выдерживается 3 суток при дневном освещении и 2 суток при воздействии слабого ультрафиолета.

Результаты микробиологических исследований показали, что штаммы бактерий E.coli присутствуют на всех образцах. Область покpытия в наибольшей степени подверглась воздействию штамма на образце без TiO<sub>2</sub>. Присутствие TiO<sub>2</sub> в покpытии не приводит к подавлению роста бактерий полностью, однако на образцах, полученных из электролита в присутствии 1 г/л TiO<sub>2</sub>, тогда как образцы полученные из электролита в присутствии 2 г/л TiO<sub>2</sub> работают против E.coli несколько хуже. Подобному феномену пока нет объяснений. Аналогичным образом ведет себя покpытие по отношению к

*S.aureus*.

Поскольку антибактериальная активность покрытий должна напрямую зависеть от количества диоксида титана в покрытии, можно предположить, что при получении покрытий Sn-Ni-TiO<sub>2</sub> из электролита с содержанием TiO<sub>2</sub> 1 г/л создаются благоприятные условия для его внедрения в покрытие.

Таким образом, на основе экспериментальных данных микробиологических исследований установлено, что покрытия с наибольшими антибактериальными характеристиками получаются из электролита с содержанием TiO<sub>2</sub> 1 г/л.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование методов оценки антимикробных свойств материалов и изделий / Л. И. Антоновская, А. С. Жих, И. С. Петреня, Н. А. Белясова // Труды БГТУ. Серия IV. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2007. – № 5. – С. 212–214.

2. Метод анализа численности и активности микроорганизмов на поверхности материалов / А. В. Игнатенко // Труды БГТУ. Серия IV. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2009. – № 7. – С. 158–161.

**Секция  
ГУМАНИТАРНЫХ НАУК**

УДК 1:001.8:004.8

Магистрант Н. Ю. Адамцевич

Науч. рук. проф. П. А. Водопьянов (кафедра философии и права БГТУ)

## **КОНВЕРГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ ОБЩЕСТВА**

За последние десять лет исследования в области философии науки и технологии в их междисциплинарном и транс дисциплинарном контекстах обзавелись новым концептом: «конвергирующие технологии». Конвергенция (от английского *convergence*) - схождение в одной точке) означает не только взаимное влияние, но и взаимопроникновение технологий, когда границы между отдельными технологиями стираются, а многие интересные результаты возникают именно в рамках междисциплинарной работы на стыке областей [1].

Нано-, био-, информационно-коммуникационные и когнитивные технологии тесно взаимодействуют между собой и в своей совокупности формируют систему конвергентных НБИК- технологий, предопределяющих основные направления прогресса науки и технологий на современном этапе общественного развития.

Особый интерес представляют вероятные качественные изменения экономической системы под воздействием описанных выше технологий.

Развитие НБИК-технологий приведет к значительному скачку в возможностях производительных сил. С помощью нанотехнологий, а именно - молекулярного производства, по расчетам специалистов, станет возможным создание материальных объектов с чрезвычайно низкой себестоимостью. Молекулярные наномашин, в том числе наноассемблеры, могут быть невидимы глазу, и распределены в пространстве в ожидании команды на производство. Биотехнологии вряд ли окажут столь радикальное воздействие на экономические аспекты жизни человека, их основное влияние будет направлено на самого человека. В области когнитивных технологий ключевым достижением применительно к экономике может стать разработка искусственного интеллекта, который и будет направлять множество нанороботов в их производительной работе [2].

Информационные технологии уже сейчас начинают радикально менять привычные экономические реалии. В частности, принцип изобилия ресурсов проявляется в этой области наиболее явно. Возможность неограниченного копирования информации позволяет максимизировать экономический эффект в масштабах всего общества. Необходимо заметить,- когда говорят о повышении доли информации



в производимой продукции, имеется в виду, что основную ценность имеет информация о продукте, необходимая для его воспроизводства, а не ресурсы, непосредственно используемые в производстве. По мере развития производственных возможностей, доля стоимости ресурсов и труда продолжит снижаться. Но уже сегодня нередки ситуации, когда информация о материальных объектах свободно распространяется заинтересованными лицами, что приводит к неожиданным экономическим последствиям.

Как изменится культура человечества в процессе трансформации, сказать сложно. На этот процесс серьезно могут повлиять изменения морально-этических норм, которые неизбежно будут происходить именно вследствие развития современных технологий. Возможно, этическими установками можно будет управлять. Критерий удовольствия, один из достаточно важных этических критериев, также трансформируется - станет возможным получение удовольствия без привязки к конкретным действиям или событиям.

Уже сегодня многие люди обязаны жизнью современным медицинским технологиям. В будущем этот феномен станет проявляться во все возрастающей степени: геновая инженерия, использование искусственных и выращенных органов и другие медицинские технологии будут ответственны за снижение смертности и растущую продолжительность жизни. Кроме того, люди, модифицированные и улучшенные с помощью конвергентных технологий, начнут составлять все большую долю населения [2].

В ближайшем будущем биологические изменения человека, вероятно, будут реализованы уже на новом уровне, с помощью прямого вмешательства в генетический код и в процессы жизнедеятельности человека. Здесь можно выделить два ключевых направления: перестройка тела человека и перестройка его разума [3].

Вопрос о границах «человечности» вполне может стать в будущем одним из основных политических вопросов. В то же время, надо отчетливо понимать, что улучшение разума человека возможно уже сегодня в рамках подхода, называемого «приращение разума». Сюда входят: использование инструментов для поиска, обработки и структурирования информации, системы личной производительности, ноотропные средства и носимые электронные устройства [2].

Однако не следует забывать, что НБИК-технологии могут иметь не только конструктивные, но и деструктивные социальные последствия, особенность которых связана с непредсказуемостью их воздействия на процесс формирования «инновационного человечества». Доступность нейроинтерфейсов приведет к сближению человека и

машин на качественно новом уровне, к последующему изменению форм коммуникации и стиранию граней между реальным и виртуальным существованием. Коррекция генома, изменение биологических и физиологических свойств организма приведут к изменению понимания самой природы человека [3].

В целом, осознавая рискогенность НБИК-технологий, мировое сообщество выражает озабоченность возможными последствиями их внедрения. Пока стандарты использования высоких технологий в промышленно развитых странах не разработаны, международная организация по стандартизации (ИСО) выпустила документ, описывающий воздействие нанотехнологий на здоровье и безопасность людей [3]. Поэтому есть основания надеяться на то, что возможные деструктивные последствия использования НБИК-технологий будут взяты под разумный общественный контроль.

Дальнейшее развитие комплекса НБИК-технологий зависит от целого ряда факторов: уровня развития самой науки, стратегии ее планирования, организационного и материального обеспечения научной деятельности, подготовки кадров, ориентации на производство продукции, товаров и услуг, готовности общества к адекватному восприятию феномена НБИК-конвергенции [4]. Если общественная система готова к учету и соблюдению баланса этих факторов, то в ней будет происходить вполне гармоничное развитие научно-технологического потенциала в виде конвергентных технологий и реального их внедрения в сектор экономики. Если же этот баланс будет нарушен, то на перспективность развития НБИК-технологий можно не рассчитывать.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Казанцев, А.К. ИВИС-технологии. Инновационная цивилизация XXI века / А.К. Казанцев, В.Н. Киселев, Д.А. Рубвальтер, О.В. Руденский. - М.: Инфра-М, 2014.-384 с.

2. Инновационная цивилизация XXI века: конвергенция и синергия ИВИС-технологий. Тенденции и прогнозы 2015-2030 [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://www.vixri.ru/wp-content/uploads/2011/08/inf32010.pdf>. - Дата доступа: 23.03.2018.

3. Конвергенция технологий - новая детерминанта развития общества [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://621/47>. - Дата доступа: 23.03.2018.

4. Ковальчук, М. В. Конвергенция наук и технологий - прорыв в будущее / М. В. Ковальчук // Российские нанотехнологии. - М.: Парк- медиа, 2011.-№1-2. С. 13-23.

магистрант А.А. Прищепов  
Науч. рук. проф. П.А. Водопьянов  
(кафедра философии и права, БГТУ)

## **ЦЕННОСТНЫЕ ОРИЕНТАЦИИ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА**

Ценности личности являются основой для формирования жизненной стратегии и во многом определяют линию профессионального развития человека [1].

Ценностная ориентация есть, с одной стороны, конкретное проявление отношения личности к самой действительности, а с другой – система фиксированных установок, регулирующих поведение в повседневной жизни: цели, идеалы, убеждения, интересы. Формирование ценностных ориентаций происходит при усвоении социального опыта.

В настоящее время согласно статье 2 Конституции Республики Беларусь [2] в качестве высшей ценности современного белорусского общества декларируется человек, а также его права, свободы и гарантии их реализации. На практике эти ценности далеко не всегда реализуются в полной мере, как по объективным, так и по субъективным причинам.

В реальной действительности социально-экономические процессы могут привести к лишь формальному признанию ценности человека, что приведет к формированию у него интересов, не всегда совпадающих с интересами государства и общества. В силу эгоизации личности система ценностей изменится в сторону приоритета личностных ценностей, а социально значимые ценности постепенно утратят свою значимость, как для общества, так и для отдельного индивида. Как результат, для личности в качестве высших на первое место по значимости выйдут приватные ценности: личный материальный успех и свобода.

Одной из главных задач общества на современном этапе должно стать недопущение развития такого явления как гипериндивидуализм (крайний индивидуализм, индивидуализм без меры). Индивидуалисты рассматривают себя как цель, а всё остальное, в том числе всех остальных, как средство, отвергая концепцию социальной ответственности, что, в конечном итоге, может привести к нестабильной обстановке в обществе [3].

В обществе, где царит индивидуализм, главенствующее значение имеет рынок, в то время как человек рассматривается всего лишь как его элемент, всецело подчиненный его потребностям.

При рыночной ориентации общества человек начинает рассматривать свои навыки, возможности и способности как товар, который имеет определенную цену на рынке и который подлежит продаже. Такая ориентированность на социально-экономическую, но не личностно-нравственную значимость личности все больше приводит к тому, что единственно достойной, социально и личностно значимой целью в жизни рассматривается успех, понимаемый главным образом как успех материальный, достигая которого любой ценой, личность склонна рассматривать себя в качестве ценности [4].

В результате, стране может грозить утрата традиционных для Беларуси ценностей и ориентиров – идей единства, толерантности, солидарности, которые всегда доминировали в белорусском национальном менталитете. На смену им постепенно придут ценности рыночного образца – жадность, эгоизм, прагматизм, моральный и социальный цинизм. Это явление может иметь самые негативные последствия для белорусского общества, поскольку может привести к утрате национальной самобытности в менталитете, духовности и культуре, окончательному распаду общества.

Экономическая успешность личности, которая определяется ее способностью подстраиваться под изменчивость рынка, приведет к снижению значимости не только профессиональных, но и моральных установок и ценностных ориентации, которые изменяются таким образом, чтобы получить наивысшую оценку на рынке труда и обеспечить материальное благополучие в скором будущем.

В стране наблюдается дифференциация населения по материальному, социальному, духовному и нравственному признакам. Такое деление все больше отчуждает людей друг от друга и на смену духовным, истинно человеческим, ценностям постепенно приходят материальные.

Наличие данной тенденции может служить одним из признаков возможной дегуманизации общественных отношений. Приоритет интересов личности предполагает и осознание ценности самой личности и, несомненно, связан с уважением ее прав, чести и достоинства. Однако в условиях кризисных явлений в обществе приоритет интересов личности и ее свобода при отсутствии должной защищенности и социальной справедливости приводят к тому, что потребности человека могут быть удовлетворены чаще всего посредством ущемления интересов других людей, поскольку

равенство возможностей в реализации индивидом его прав пока реально отсутствует.

Как следствие, в обществе становится морально то, что экономически полезно в конкретной ситуации, поскольку именно экономический потенциал во многом определяет в настоящее время статус личности в обществе, возможность получения пользы для себя.

Как известно, становление духовной культуры и нравственности – это очень длительный процесс, который охватывает целые тысячелетия. В то же время культурная и нравственная деградация нации при создании определенных условий происходит достаточно быстро, причем, начиная с определенного момента, процесс деморализации общества приобретает лавинообразный характер, захватывая все новые и новые социальные слои и группы, лишая их нравственных устоев, идеалов и ценностей. Вместо них в индивидуальном и массовом сознании развивается безразличие, бездуховность, жестокость, социальный и нравственный нигилизм.

Анализ тенденций в развитии ценностных ориентации населения страны позволяет сделать вывод, что ценностные ориентации представителей различных групп населения смещаются в сторону индивидуально-личностных.

Как результат, в общественном сознании населения развиваются две противоположные тенденции: с одной стороны, люди стремятся сохранить в целостности традиционную систему ценностей и основы моральности (толерантность, гуманизм, сострадание, коллективизм, справедливость и т.д.), а с другой – вынужденное, ситуативно обусловленное тяготение к переоценке ценностей и к освобождению от необходимости соблюдать основные моральные нормы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Батаршев, А.В. Учебно-профессиональная мотивация молодёжи: учеб. пособие / А.В. Батаршев. – М.: «Академия», 2009. – 185с.
2. Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. и 17 октября 2004 г.). – Минск: Амалфея, 2005. – 48 с.
3. Живой Журнал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.livejournal.com](http://www.livejournal.com). – Дата доступа: 10.04.2018.
4. Возьмитель, А.А. Альтернативы социокультурного развития России / А.А. Возьмитель // Социальная жизнь России: теории и практики. – Москва: Изд-во РГСУ «Союз», 2005. – С. 54–55.

УДК 338.45 : 33 : 004. 9

Магистрант В. В. Касперович

Науч. рук. доц. П. М. Бурак (кафедра философии и права, БГТУ)

## **ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ. ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА: ДОСТИЖЕНИЯ И РИСКИ**

С каждым годом темпы технологического развития увеличиваются и, оглядываясь всего на несколько лет назад, можно отметить, что недавние открытия в разных областях науки нашли применение в реальных проектах, которые становятся неотъемлемой частью нашей жизни. Эксперты в разных отраслях по всему миру говорят о приближении четвертой промышленной революции.

Промышленная революция — качественные изменения, происходящие в обществе под воздействием революции в технике, технологиях, способе соединения человека со средствами труда [1]. Первая промышленная революция связана с переходом от аграрной экономики к промышленному производству. Вторая промышленная революция — возникновение массового производства, благодаря электрификации и внедрению конвейера. Третья промышленная революция — применение в производстве электронных и информационных систем, обеспечивших интенсивную автоматизацию и роботизацию производственных процессов. По мнению президента Всемирного экономического форума в Давосе Клауса Шваба, принимая во внимание различные доводы из описания первых трех промышленных революций, можно судить о том, что сейчас мир находится на пороге четвертой промышленной революции. В широком смысле, четвертая промышленная революция (4ПР) — это переход на полностью автоматизированное цифровое производство, управляемое интеллектуальными системами в режиме реального времени в постоянном взаимодействии с внешней средой, выходящее за границы одного предприятия, с перспективой объединения в глобальную промышленную сеть вещей и услуг [2]. Четвертая промышленная революция подразумевает преобразование человечества, беспрецедентное по масштабу, объёму и сложности, по сравнению со всем предыдущим опытом человечества. Клаус Шваб выделяет три фактора, выделяющих самостоятельность четвертой промышленной революции: темпы развития, широта и глубина, системное воздействие.

В отличие от предыдущих, эта промышленная революция развивается не линейными, а скорее экспоненциальными темпами, она основана на цифровой революции и сочетает разнообразные

технологии, обуславливающие возникновение беспрецедентных изменений парадигм в экономике, бизнесе, социуме в каждой отдельной личности. Она предусматривает целостные внешние и внутренние преобразования всех систем по всем странам, компаниям, отраслям и обществу в целом [3]. По мнению Шваба ограничить потенциал эффективной и последовательной реализации четвертой промышленной революции могут два фактора: крайне низкий уровень управления и осознания текущих изменений; отсутствие последовательной, позитивной и единой концепции на глобальном уровне, которая могла бы определить возможности и вызовы четвертой промышленной революции.

Среди основных экономических эффектов 4 ПР Шваб выделяет рост ожиданий заказчика, улучшение качества продуктов, совместные инновации и новые формы организации. Преимущество будет у компаний, владеющих уникальной платформой, объединяющей множество людей. Этот факт может способствовать неравенству, вызванному концентрацией преимуществ и ценностей в руках небольшого процента людей. Хотя человек освободится от тяжелого и рутинного труда, но полная независимость производства от людей приведет к массовой потере рабочих мест. Развитие технологий также может вызвать увеличение разрыва между доходами от капитала и от труда и, как следствие, рост неравенства. Спрос на работников с низким уровнем образования и более низкой квалификацией, наоборот, снизится. В результате главными выгодоприобретателями четвертой промышленной революции явятся поставщики интеллектуального или физического капитала — изобретатели, инвесторы, акционеры. Поэтому эксперты призывают государства уже сейчас обеспокоиться этим вопросом и подготовиться к новой промышленной революции [3].

*Цифровая экономика.* Хотя словосочетание «цифровая экономика» появилось более 20 лет назад, содержание понятия до сих пор остаётся размытым. Доклад Всемирного банка о развитии цифровой экономики также не даёт чёткого определения [4]. В недавно принятом декрете президента о развитии цифровой экономике в Беларуси её определение также отсутствует. В декрете президента РФ о стратегии развития информационного общества можно найти следующее определение: цифровая экономика — хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно

повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг.

Авторы работы «Введение в Цифровую экономику» из Сретенского клуба им. С. П. Курдюмова предлагают несколько определений. Первое, верхнеуровневое: «Цифровая» экономика — это экономика, существующая в условиях гибридного мира. Под гибридным миром понимается результат слияния реального и виртуального миров. Для более конкретного понимания предстоящих изменений предлагается другое определение: «Цифровая» экономика — это экономика, характерной особенностью которой является максимальное удовлетворение потребностей всех ее участников за счет использования информации, включая персональную [5].

Таким образом, еще не оформилось общепринятое понимание цифровой экономики, более того во многих работах оно сводится к основным чертам четвертой промышленной революции, что делает затруднительным их разграничение.

В самом общем виде цифровую экономику можно представить как ту часть экономических отношений, которая опосредуется Интернетом, сотовой связью, информационно-компьютерными технологиями [4]. Информационно-компьютерные технологии спрямляют связи между компаниями, банками, правительством и населением, убирая длинные цепочки посредников и ускоряя проведение разнообразных сделок и операций.

Отталкиваясь от такого представления о цифровой экономике, авторы многих исследований делают вывод, что данная модель экономики обеспечит «цифровые дивиденды» обществу в виде более высокой производительности труда, повышения конкурентоспособности компаний, снижения издержек производства, ослабления кризисов, роста занятости, более полного удовлетворения потребностей человека, снижения бедности и даже ослабления социальной поляризации общества. Главными элементами цифровой экономики называются: электронная коммерция; электронный банкинг; электронные платежи; интернет-реклама; интернет-игры. В большинстве стран сегодня наиболее развит такой вид цифровой экономики, как электронная торговля [4].

Одним из авторитетных экспертов в области цифровой экономики выступает компания The Boston Consulting Group (BCG). Наиболее развита электронная коммерция в Великобритании. Несколько отстает от неё Германия. Специалисты BCG попытались оценить уровень развития цифровой экономики, учитывая все её сектора. Результаты были выражены в индексах, учитывающих



многие параметры. 85 обследованных стран были ранжированы в порядке убывания значения индексов VCG. Группа лидеров: 1) Дания; 2) Люксембург; 3) Швеция; 4) Южная Корея; 5) Нидерланды.

Для оценки цифровой экономики также можно выделить Индекс развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) Международного союза электросвязи и Индекс развития электронного правительства, публикуемый ООН. Индекс развития ИКТ Международного союза электросвязи состоит из одиннадцати показателей. Среди них — доступ к информационно-коммуникационным технологиям, степень их использования (количество активных пользователей мобильной связи и интернета), а также навыки использования информационных технологий жителями страны. Беларусь занимает первое место в СНГ и 31-е место в мире по развитию информационно-коммуникационных технологий. Индекс развития электронного правительства – показатель, измеряющий желание и возможность национальных правительств использовать ИКТ для оказания государственных услуг. Беларусь сейчас находится на 49 месте.

С развитием и широким внедрением «цифровых» технологий связано возникновение новых рисков и проблем. Основными из них являются следующие: угроза «цифровому суверенитету» страны и пересмотр роли государства в трансграничном мире «Цифровой» экономики; нарушение частной жизни (потенциальное наблюдение за гражданами); снижение уровня безопасности данных; уменьшение числа рабочих мест низкой и средней квалификации; повышение уровня сложности бизнес моделей и схем взаимодействия; резкое усиление конкуренции во всех сферах экономики; изменение в моделях поведения производителей и потребителей; необходимость пересмотра административного и налогового кодексов.

Таким образом, вопросы четвертой промышленной революции и цифровой экономики чрезвычайно сложны и многогранны и требуют глубокого комплексного анализа на многих уровнях. Основные проблемы на данном этапе заключаются в осмыслении и осознании всего объёма, широты и глубины возможных изменений стратегии в промышленности и экономике, обуславливающих будущее общества. При этом перспективу не следует связывать лишь с сиюминутной экономической и социальной выгодой. Необходимо целостное видение 4 ПР, понимание того, что наступление 4 ПР влечет за собой как позитивные так и негативные последствия, заранее предпринимать меры по уменьшению деструктивных рисков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Философская Энциклопедия. В 5-х т. — М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Ф. В. Константинова. 1960—1970.
2. Четвертая промышленная революция. Популярно о главном технологическом тренде XXI века [Электронный ресурс] — Режим доступа : [http://www.tadviser.ru/index.php/Понятие Четвертой индустриальной революции](http://www.tadviser.ru/index.php/Понятие_Четвертой_индустриальной_революции) — Дата доступа : 08.04.2018.
3. Шваб К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб — М. : «Эксмо», 2016 — 138с. — (Top Business Awards)
4. Цифровая экономика — светлое будущее человечества или биржевой пузырь? [Электронный ресурс] — Режим доступа : <https://www.kramola.info/vesti/novosti/cifrovaya-ekonomika-svetloe-budushchee-chelovechestva-ili-birzhevoy-puzyr>. — Дата доступа : 08.04.2018.
5. Введение в «Цифровую» экономику / А.В. Кешелава В.Г. Буданов, В.Ю. Румянцев и др.; под общ. ред. А.В. Кешелава; гл. «цифр.» конс. И.А. Зимненко. — ВНИИГеосистем, 2017. — 28 с.
6. Шок будущего. Беларусь перед вызовом четвертой индустриальной революции [Электронный ресурс] — Режим доступа : <http://eurasia.expert/industriya-4-0-vyzov-ili-vozmozhnost-dlya-belarusi/>. — Дата доступа : 08.04.2018.

УДК 620.95 : 101.8

Студ. Е.С. Данильчик  
Науч. рук. д.ф.н. П.А. Водопьянов  
(кафедра философии и права)

### **ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ДОСТИЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Энергия играет основополагающую роль в формировании человеческих условий существования. Потребность людей в энергии – это необходимость для выживания, поэтому не удивительно, что производство и потребление энергии являются одними из наиболее важных направлений человеческой деятельности. Действительно, существует мнение, что энергетика – это ключ к развитию цивилизации, что эволюция человеческого общества зависит от преобразования энергии для использования человеком. Немногие люди ставят под сомнение давнее предположение, что уровень жизни и качество цивилизации пропорциональны количеству энергии, используемой обществом. Однако, с определённой степенью точности, большинство

людей все же уверены в стойкости формулы: *энергия = прогресс = цивилизация*.

Потребление энергии во всем мире непрерывно растет, что объясняется ростом населения, происходящим процессом индустриализации, вызывающим повышение расхода материалов на душу населения, увеличение энергозатрат на работу транспорта и добычу природных ископаемых, на повышение плодородия почв и пр.

Многokратное увеличение объема мирового энергoбаланса неизбежно ведет к значительному истощению природных ресурсов. Для уменьшения этих негативных последствий огромное значение имеет энергосбережение, которое позволяет производить продукцию и полезную работу с гораздо меньшим потреблением энергии, чем в прошлом веке. В XX в. эффективно использовалось около 20 % первичной энергии, в то время как новейшие технологии позволяют повысить коэффициент действия энергетических установок в 1,5–2 раза.

Таким образом, на сегодняшний день имеются три проблемы общества, связанные с энергетикой, которые свидетельствуют о *глобальном экологическом кризисе*:

- дефицит энергоресурсов и электроэнергии («угроза энергетического голода»);
- угроза благополучию окружающей среды вследствие техногенного воздействия объектов энергетики (угроза «экологического инфаркта»);
- геополитические и социальные угрозы.

Энергетический кризис может грозить не только отдельно взятой стране или континенту, но и всей цивилизации в целом. Поэтому проблемы глобальной энергетической безопасности приобретают все большую актуальность и широко обсуждаются на международных саммитах самого высокого уровня.

По мнению экспертов Международного энергетического агентства (МЭА), *энергетическая безопасность* – это внутреннее и внешнее состояние или положение страны, при котором:

- отсутствуют реальные и потенциальные угрозы энергетическим интересам государства и отдельных потребителей, возникающие в процессе добычи, переработки, транспортировки и использования природных энергоресурсов и получаемых на их основе всех видов энергии, а в случае возникновения угроз – система мер по обеспечению охраны или защиты энергетических интересов с целью устранения или минимизации негативных последствий;
- поддерживается требуемый уровень жизнеобеспечения и жизнедеятельности общества и государства за счет оптимизации

топливно-энергетического баланса и рационального потребления имеющихся энергоресурсов;

• обеспечиваются необходимые условия как для надежного функционирования и развития энергетики, промышленности и транспортного комплекса страны, так и для достойной жизнедеятельности общества и каждого из его членов.

Наибольшее внимание в последнее время уделяется таким ключевым вопросам, как международное сотрудничество, оптимальная организация рынков и унификация условий доступа потребителей к мировым энергетическим ресурсам.

*Наиболее важными элементами глобальной энергетической безопасности являются следующие:*

1) Диверсификация источников энергии, то есть экономика не должна чрезмерно зависеть от какого-либо одного энергоносителя, недопустима моноструктура энергетического баланса.

2) Экологическая приемлемость, то есть развитие энергетики не должно сопровождаться увеличением ее негативного воздействия на окружающую среду.

3) Рациональное потребление традиционных углеводородных ресурсов, то есть использование органического топлива в энергетике не должно приводить к нехватке его для химической промышленности.

4) Переход от простых поставок сырья к международному сотрудничеству в области переработки энергоресурсов, обмена новейшими технологиями, широкому взаимодействию в инвестиционной сфере, а также в разработке современных норм энергосбережения.

5) Высокие темпы освоения возобновляемых источников энергии позволят снизить зависимость мировой экономики от поставок нефти и газа и минимизировать затраты на транспортировку энергоресурсов.

6) Интенсификация международных научных исследований во всех отраслях энергетики.

Обеспечение энергетической безопасности мирового сообщества может быть достигнуто только с учетом долговременных ориентиров и долгосрочных прогнозов и должно опираться на результаты глобального мониторинга энергоресурсов планеты и их использования. Дальнейшая интеграция государств при решении научных и технических задач будет способствовать успешному внедрению инновационных технологий. Во многих сферах энергетики потребуются создание и реализация крупных программ, подобных международным разработкам при создании космических аппаратов или термоядерного реактора.

В начале XXI в. интенсивно формируется единое мировое энергетическое пространство – залог энергетической безопасности человечества. Для большей динамичности этого процесса в ближайшие годы необходимо разработать методологическую, нормативно-правовую и организационную основу мировой энергетики. Главнейшая задача второго этапа – в 2015–2030 гг. начать реализацию проектов в рамках Единой международной программы управления топливно-энергетическим комплексом. На третьем этапе на основе долгосрочных общественно-государственных программ должна получить развитие система «Энергетика – Экономика – Природа – Общество», базисом которой призвана стать «зеленая» энергетика. Подобная глобальная программа XXI в. может быть создана под эгидой ООН при широком участии представителей власти, бизнеса, авторитетных ученых и общественных организаций.

*Новая парадигма «Энергия будущего».* Во многих странах разработаны программы развития энергетических отраслей на ближайшие десятилетия, однако они недостаточно учитывают структуру мирового энергетического баланса и роль инновационных технологий в будущем. Необходимо аккумулировать накопленный мировой опыт и научные знания, направленные на эффективное использование энергии.

В настоящее время энергетический ресурс нефти и газа следует рассматривать как временный плацдарм для создания качественно новой мировой энергетики. Формируется новая концепция, или *парадигма*, «Энергия будущего». Являясь системой взглядов на развитие мировой энергетики, новая парадигма энергетики устанавливает следующие *приоритеты*: 1) энергосбережение; 2) применение экологически чистых технологий добычи, транспортировки и сжигания топлива; 3) использование возобновляемых источников энергии как основы развития человечества и сохранения значительных объемов природных ресурсов для будущих поколений.

*Заключение.* Важно помнить, что в современном мире, ориентированном на дальнейшую глобализацию и интеграцию, энергобезопасность во многом зависит от того, как выстроится отношения между государствами и в какой мере совместные усилия позволят решить проблему энергетической безопасности, ведь энергетические запасы сосредоточены неравномерно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог «Naukarus» [Электронный ресурс] / Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология”. – Режим доступа: <http://www.naukarus.com>. – Дата доступа: 02.03.2018.

2. Научная энциклопедия “Студопедия” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.studopedia.ru>. – Дата доступа: 02.03.2018.

УДК 502:008:316

Магистрант М.Л. Кравченко

Науч. рук. доц. П.М. Бурак

(кафедра философии и права БГТУ)

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И ЕЕ РОЛЬ В ПРЕОДОЛЕНИИ ДУХОВНОГО КРИЗИСА ОБЩЕСТВА**

Конец XX и начало XXI столетия отмечены усилением внимания к проблемам духовного кризиса человека, кризиса воспитания. Человек не успевает преобразовывать свою культуру в соответствии с теми изменениями, которые сам же вносит в мир и природу. Решение всех этих проблем должно исходить, прежде всего, из изменения аксиологических приоритетов человека, возрождения его внутренней духовной сущности. В данном контексте весьма актуальным представляется целенаправленное формирование экологической культуры в единстве научно-познавательного и духовно-нравственного компонентов.

Духовность - это интегральное понятие, характеризующее общую направленность развития культуры на созидание духовных ценностей. Духовность отдельной личности диалектически связана с духом эпохи. Основными компонентами, образующими целостность феномена духовности, являются: познавательно-интеллектуальный, морально-психологический, художественно-эмоциональный, гуманистический, аксиологический и духовно-экологический компоненты [1].

В настоящее время, в структуре феномена духовности значительно усиливается его экологическая составляющая, направленная на обеспечение устойчивого развития современной цивилизации при сохранении природной среды не только для нынешнего поколения, но и для всех последующих. Все это требует напряженных духовных усилий со стороны человечества, перестройки менталитета, формирования и развития экологического мышления [2].

Причинами духовно-нравственного кризиса, который в настоящее время переживает общество, можно считать: пренебрежение духовными ценностями и законами; слепое подражание Западу (пренебрежение своей национальной культурой); навязывание

философии гедонизма; приоритет потребительской ориентации в сознании и поведении людей; повышенный уровень агрессии; рост молодежной преступности, алкоголизма и т. д.

Сегодня намечается два противоположных пути выхода из духовно-нравственного кризиса. Первый путь предполагает выход из духовно-нравственного кризиса за счет разумной организации жизни и производства за счет изменения ориентиров развития науки и технологии. Второй путь разрешения кризисных явлений - это возвращение рода человеческого к «естественным» формам жизни для человека, т. е. с ограниченными здоровыми потребностями, ощущением единства с природой и космосом, формам бытия человека свободного от власти техники [3].

По мере развития человеческого общества обнаруживается все большая взаимозависимость и взаимообусловленность процессов, которые происходят в системе «природа-человек».

Главную роль в возрождении духовности призвано сыграть экологическое образование, которое направлено на выживание человечества и формирование ценностных ориентаций личности.

Целью и результатом экологического образования является экологическая культура. Для того чтобы сформировать экологически активную личность в процессе экологического образования, необходимо: овладеть научными знаниями, усвоить моральные ценностные ориентации по отношению к природе, выработать практические умения и навыки по сохранению благоприятных условий природной среды.

Экологическая культура предполагает такой способ жизнеобеспечения, при котором общество с помощью системы духовных ценностей, этических принципов, экономических механизмов, правовых норм и социальных институтов формирует такие потребности и способы их реализации, которые не создают угрозы жизни на Земле.

Формирование экологической культуры, как конечной цели экологического образования, включает несколько этапов: формирование знаний; формирование ценностей; введение знаниевого и ценностного компонентов в деятельностный план. То есть, в процессе экологического образования должна быть воспитана эколого-активная личность, которая заинтересовано, осознанно, на базе глубоких экологических знаний осваивает природную среду в целях создания оптимальных экологических условий бытия человека [4].

Необходимость слияния духовных ценностей и экологических

норм во взаимодействии человека с природой должна быть переосмыслена в качестве методологической основы для исследования границ человеческой деятельности, управления переходом общества к устойчивому развитию и принятия соответствующих решений.

Экологическая культура, как показатель уровня духовной жизни людей, результат их воспитания и образования, интеллектуального, нравственного и эстетического развития должна быть ориентирована на формирование отношений сосуществования, добрососедства, согласия и мира. Экологическая культура, формирование всесторонне образованной, духовно богатой, физически и нравственно здоровой, ответственной личности являются важнейшими факторами устойчивого развития общества.

Очевидно, что на сегодняшний день процесс теоретического и деятельностного становления экологической культуры не завершен. Человечеству предстоит период основательной перестройки ценностей как материальной, так и духовной культуры и формирования новой - экологической культуры, который по его масштабности и сложности можно квалифицировать как революционный. Для этого необходимо самоопределение воли индивида и социума, направленное на коренную перестройку экологического мировоззрения людей, переоценку ценностей в области духовно-нравственной деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Dissercat [Электронный ресурс] / Духовность человека в контексте экологической культуры - Москва, 2013. Режим доступа: <https://www.dissercat.com>. – Дата доступа: 22.02.2018.
2. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. М., 1988. - 541 с.
3. Международный Благотворительный Фонд Всемирной Человечности [Электронный ресурс] / О Фонде. Режим доступа: <https://www.eliteworld.org>. Дата доступа: 25.02.2018.
4. Учебные материалы [Электронный ресурс] / Экологические мировоззрения - Россия. Режим доступа: <https://works.doklad.ru>. - Дата доступа: 23.02.2018.



УДК 008+321](476)

Магистрант О. М. Лапич  
 Науч. рук. доц., к.ф.н. П. М. Бурак  
 (кафедра философии и права, БГТУ)

## ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ И РАЗВИТИЯ БЕЛОРУССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ В ЭПОХУ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

В истории человечества современный период многие исследователи называют эпохой глобализации. Этот процесс вызвал значительные сдвиги в культуре Республики Беларусь, обострив ее проблемы. Глобализация – это исторический процесс сближения нации и народов, между которыми постепенно стираются традиционные границы.

С одной стороны, глобализация представляет собой объективный процесс формирования и последующего развития единого общемирового финансово-экономического пространства на базе новых, преимущественно компьютерных технологий. С другой стороны, «идеологи» глобализации, прежде всего США, связывают ее с процессом «размывания» национальных и культурных различий между странами, с гомогенизацией и универсализацией мира [1].

В настоящее время информационная глобализация все больше воздействует на динамику культуры. Она ускоряет процессы межкультурной коммуникации, увеличивает темпы взаимного информационного обмена между национальными культурами, принося новые импульсы в их развитии. На основании работ отечественных и зарубежных авторов можно выделить следующие подходы к развитию культуры в условиях глобализации, представленные в таблице.

**Таблица – Глобальные тенденции в развитии культуры**

Наименование	Авторы	Характеристика
1	2	3
Концепция глобальной культуры	М. Арчер, Р. Барнет, Э. Гидденс	Понятие «глобальная культура» выражает процесс усиления взаимосвязанности и взаимозависимости постепенно утрачивающих свои этнические и национальные черты «локальных культур».

## Продолжение таблицы

1	2	3
Концепция одностороннего культурного влияния	Ф. Буэлл, Д. Макквейл, Г. Г. Пирогов	Глобализация культуры трактуется как процесс распространения стандартизированной «массовой» культуры, «нивелировки» и «вестернизации» национальных культур «по образцу» стран-лидеров.
Концепция «глобальной локализации»	К. З. Акопян, У. Бек, Р. Робертсон	В условиях развития информационных технологий усиливается диверсификация культуры, более интенсивными становятся межкультурные взаимодействия.
Концепция новых стратегий трансляции культуры	М. Делягин, Д. В. Иванов, М. Кастельс, Дж. Къеза, А. И. Уткин	Интернационализация информационных потоков создает предпосылки своеобразной «виртуализации» мира. Обостряются проблемы диспропорции в межкультурной коммуникации, возникают трудности адаптации национальных культур к современному «электронному империализму».
Концепция «культурной гибридизации»	Е. М. Бабосов, Б. С. Ерасов, П. В. Малиновский	Фиксирует образование «гибридных форм» в культуре. Конкретное выражение они получают, в интертекстуальности национальных культур, в усилении ассимиляционных процессов на почве западной «массовой культуры».

Лишенные традиционных механизмов распространения культурных ценностей, национальные культуры утрачивают способность к самовоспроизводству, что и приводит к культурной гомогенизации, часто именуемой «макдональдизацией» или «кока-колизацией» культуры, поскольку именно McDonald's и Coca-cola является одними из ее характерных символов.

Противоречивость глобализации и сложность ее изучения выражается в том, что этот процесс, во-первых, развивается с различной скоростью в разных регионах мира, во-вторых, предоставляет продуктивные возможности и создает угрозы их развитию. Влияние информационной глобализации на сферу белорусской национальной культуры имеет ряд позитивных и негативных тенденций.

Выделяют следующие угрозы информационной глобализации для культуры национальных типов [2]:

- активизация межкультурного информационного обмена имеет тенденцию к модификации национальной культуры;
- глобализация, означает коммерциализацию культуры, усиление позиций развлекательной «поп-культуры», часто в ущерб национально-ориентированному культурному производству;
- возникает ряд явлений, связанных исчезновением некоторых традиционных форм национальной культуры;
- нарастает деформация самобытного национально-культурного развития под воздействием глобальной культурной семантики и форм ее трансляции.

Кроме негативных тенденций в развитии культуры, информационная глобализация способствует ускорению процессов межкультурной коммуникации, увеличивая темпы взаимного обмена между национальными культурами. Глобализация сообщает дополнительные импульсы раскрытию творческого потенциала белорусской национальной культуры, которые выражаются: в активном развитии фестивального движения; в организации и проведении международных и республиканских конкурсов и выставок; в развитии национального языка; в возрождении историко-культурного наследия Республики Беларусь; в децентрализации белорусской культуры; в активизации интереса к культуре «малой Родины»; в открытости границ для межкультурного диалога, что формирует предпосылки обогащения национальной белорусской культуры образцами мировой культуры.

Геополитическое положение Республики Беларуси таково, что она неминуемо испытывает влияние западных стран. При выработке собственного стратегического поведения белорусам не обойтись без обращения к западному опыту, но основываться оно должно на особенностях белорусского менталитета, который сложился исторически. Важнейшими его чертами являются: толерантность, неагрессивность, отсутствие стремления к разжиганию конфликтов, миролюбивость и уважительное отношение к своим предкам. Для того чтобы вписаться в глобальное социокультурное пространство, Республике Беларусь необходимо предпочесть такие аксиологические стандарты, которые позволят избежать культурного изоляционизма, а с другой – не превратиться национальной культуре в элемент унифицированной масс-культуры [3].

Таким образом, глобальные тенденции при определенных условиях могут стать важным источником новых возможностей развития и обогащения культур, в том числе и для культуры Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Саликов, А. Э. Самобытность национальной культуры: к определению понятия / А. Э. Саликов // Мастацкая адукацыя і культура. – 2009. – № 1. – С. 28.
- 2 Павловская, О. А. Безопасность Беларуси в гуманитарной сфере: социокультурные и духовно-нравственные проблемы / О. А. Павловская [и др]; под ред. О. А. Павловской; Нац. Акад. Наук Беларуси, Ин-т философии. – Минск.: Навука, 2010. – 519 с.
- 3 Жарина, Л. В. Проблема сохранения культур в условиях глобализации / Л. В. Жарина // Труды БГТУ. – 2014. – № 5. – С. 60.

УДК 502:001:574

Магистрант Н.В. Павловский  
Науч. рук. доц. П.М. Бурак  
(кафедра философии и права БГТУ)

**ФЕНОМЕН ЭКОЛОГИЗАЦИИ НАУКИ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ  
ЭКСПЕРТИЗА НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ**

Современный этап взаимоотношений общества и природы характеризуется тем, что одно кардинальное открытие в какой-либо продвинувшейся области знаний и последующее практическое его использование способны оказать небывало мощное воздействие на всю планету в целом. В этих условиях огромное значение приобретает тесный контакт между фундаментальными науками физико-химического цикла, техническими науками и науками, исследующими биосферу и отдельные биогеоценозы.

Для науки на современном этапе становится характерной ее переориентация, которую можно назвать тенденцией экологизации и, которая представляет собой проникновение экологических законов, правил и принципов в сложившуюся систему естествознания, техникзнания и человекознания [1]. Экологизация науки является выражением процесса формирования экологической культуры общества, экологизации сознания и представляет собой исходное условие глобальной рационализации человеческой деятельности. Процесс экологизации науки охватил все стороны жизни человека, включая его физический и духовный мир.

Экологизация науки осуществляется по трем направлениям [2]:

1. Использование экологического метода в исследованиях других наук, а сама наука сохраняет свою самостоятельность (например, экология литосферы).
2. Интеграция экологии как науки с другой дисциплиной,

образуя гибридное пограничное направление (например, геофизика).

3. Изучение экологических проблем практически всеми науками в связи с угрозой глобального экологического кризиса. При этом идет активный процесс расширения предмета исследования (например, правовая экология).

В исследовании экологической проблемы наука должна выступать как единое целое. Методология познания взаимоотношений человека и природной среды должна вобрать в себя особенности и достижения методологии социального и естественнонаучного познания, поскольку экологическое познание занимает промежуточное и связующее положение между науками о природе и науками о человеке [3].

Методология экологического познания должна включать в себя нормативный аспект, использовать методы опережающего отражения и преобразования действительности.

Общество, стремящееся к формированию целостной, гармонически развитой личности, должно и науку формировать как целостную, гармонически развитую систему, что и призвана обеспечить экологизация науки.

Таким образом, экологизация науки способствует тому, что:

- во-первых, вырисовываются контуры оптимистического сценария современной истории через смену национального сознания экологическим;
- во-вторых, наука, включаясь в решение экологических проблем, участвует в формировании системного мировоззрения;
- в-третьих, сегодняшняя наука становится мощным инструментом в руках человеческого сообщества для преодоления системных кризисов.

Наука, ставшая двигателем технического прогресса, несет ответственность и за его последствия. Сегодня в результате преобразовательной деятельности человека происходит стремительное истощение и деградация биосферы, а научно-технические новации служат все большим источником риска для человечества.

Важным средством преодоления угрозы экологических кризисов и техногенных катастроф служит экологическая экспертиза научных проектов. Экологическая экспертиза представляет собой установление соответствия или несоответствия документации планируемых проектных решений требованиям законодательства об охране окружающей среды и рационального использования природных ресурсов [4].

В Республике Беларусь предусмотрено проведение государственной и общественной экологической экспертизы.

Государственная экологическая экспертиза является предупредительной мерой, которая позволяет ещё на стадии разработки проектной документации, до реализации планируемой деятельности, оценить масштаб и виды возможного вредного воздействия на окружающую среду, разработать мероприятия, направленные на уменьшение или предотвращение вредного воздействия на нее. Такая деятельность осуществляется организациями, подчиненными Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ.

В основе экологической экспертизы лежит ряд принципов: презумпция потенциальной экологической опасности любой намечаемой деятельности; обязательность проведения государственной экологической экспертизы до принятия решений о реализации объекта экологической экспертизы; комплексность оценки воздействия на окружающую природную среду хозяйственной и иной деятельности; достоверность и полнота информации, представляемой на экологическую экспертизу и др.

В общем случае, методы проведения экологической экспертизы включают: сбор, обобщение, оценку материалов, составление заключения и контроль за его выполнением.

Таким образом, экологическая экспертиза выполняет роль центрального звена в механизме предупреждения вреда окружающей среде и населению, осуществляет оценку соответствия проектной документации требованиям природоохранного законодательства Республики Беларусь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горелов, А. А. Экология : учеб, пособие для вузов / А. А. Горелов. - М.: Юрайт-М, 2002.-312 с.
2. Miatz.ru/ [Электронный ресурс] / Тенденция экологизации науки - Режим доступа: <http://miatz.ru>. – Дата доступа: 12.02.2018.
3. Кохановский, В. П., Лешкевич, Т. Г. Философия науки в вопросах и ответах / В. П. Кохановский, Т. Г. Лешкевич. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. - 352 с.
4. Право.by [Электронный ресурс] / Закон Республики Беларусь «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду» - Республика Беларусь, 2018. Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 19.02.2018.

УДК 001.8

Магистрант А.С. Василевский  
Науч. рук. доц. П.М. Бурак  
(кафедра философии и права, БГТУ)

## **НАПРАВЛЕНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ**

Развитие науки является частью общей динамики современных цивилизационных процессов. Мир становится единым, более унифицированным чем в прежние времена. Эту важнейшую особенность нынешней цивилизационной ситуации сегодня все чаще называют глобализацией.

Современная наука также изменяется в сторону колоссального усложнения, ускоренной динамики, наращивания технического потенциала. Сегодня изменяется и сама профессия ученого, его образ жизни и действий [1].

Основная тенденция развития науки заключается в ее интеграции с прогрессом техники и производства

На современном этапе наука опирается на производство, а производство на науку. Хотя производство по-прежнему и даже в гораздо большей степени доставляет науке как задачи, подлежащие решению, так и средства научного труда, однако наука при этом опережает производство, прогнозирует и определяет его преобразования. Наряду с эмпирической и теоретической функциями получают развитие функции поиска и обоснования путей практического использования научных достижений.

Следующей за тенденцией интеграции науки и производства идет тенденция индустриализации науки. Она проявляется в росте фондовооруженности труда ее работников, в автоматизации информационных, вычислительных и проектных работ, в увеличении доли овеществленного труда в затратах на науку.

Третьей тенденцией является углубление разделения научного труда. разделение труда привело к резкому росту его производительности, к сокращению срока, отделявшего выдвижение научной идеи от ее реализации до периода творческой жизни одного поколения (15-30 лет).

Четвертая тенденция - это сближение наук о природе (естествознание) и наук об обществе через их связующее звено - науку о технике в широком смысле, включая ее организацию (технология). Именно на стыке этих наук происходят наиболее важные открытия [2].

Пятая тенденция - усиливающаяся математизация научных теорий и увеличивающийся уровень их абстрактности и сложности. Эта особенность современной науки привела к тому, что работа с ее новыми теориями превратилась в новый и своеобразный вид деятельности. Компьютеризация, усиление альтернативности и сложности науки сопровождаются изменением и ее «эмпирической составляющей». Речь идет о том, что появляются все чаще сложные, дорогостоящие приборные комплексы, которые обслуживают исследовательские коллективы и функционируют аналогично средствам промышленного производства.

Шестая тенденция заключается в стремлении построить общенаучную картину мира на основе принципов универсального (глобального) эволюционизма, объединяющих в единое целое идеи системного и эволюционного подходов. Глобальный эволюционизм: характеризует взаимосвязь самоорганизующихся систем разной степени сложности и объясняет генезис новых структур; рассматривает в диалектической взаимосвязи социальную, живую и неживую материю; создает основу для рассмотрения человека как объекта космической эволюции, закономерного и естественного этапа в развитии нашей Вселенной.

Седьмая тенденция выражается в формировании нового – «организмического» видения (понимания природы). Природа все чаще рассматривается не как конгломерат изолированных объектов и даже не как механическая система, но как целостный живой организм, изменения которого могут происходить в определенных границах. Нарушение этих границ приводит к изменению системы, к ее переходу в качественно иное состояние, которое может вызывать необратимое разрушение целостности системы.

Восьмая тенденция проявляется в понимании мира не только как саморазвивающейся целостности, но и как нестабильного, неустойчивого, неравновесного, хаосогенного, характеризующегося неопределенностью.

Развитие науки осуществляется в двух основных формах: эволюционной и революционной.

Эволюция в науке - это накопление в течение многих лет новых фактов и знаний в рамках прежних теорий, научных принципов и представлений.

Революция в науке – это коренная ломка и перестройка ранее установившихся воззрений в данной области науки, пересмотр ее фундаментальных положений, законов и принципов в результате накопления новых экспериментальных данных, открытия новых



явлений, создания новой системы понятий и появление новых теоретических выводов, которые противоречат прежним.

Современная научная революция означает переворот не только в содержании отдельных областей знания, но и в средствах и методах научной деятельности в целом, а также в социальной роли науки. Этот процесс характеризуется следующими особенностями.

Во-первых, изменения одновременно происходят не в одной, а во многих взаимосвязанных областях науки – в философии, биологии, экономике, психологии и т.д.

Во-вторых, наблюдается быстрая дифференциация, разделение и одновременно синтез, взаимопроникновение различных наук.

В-третьих, складывающаяся структура научного знания приближается к адекватному отражению структуры окружающего мира.

За рамки отдельных наук вышли такие понятия, как “система”, “структура”, “функция”, “норма”, “адаптация”, “надежность”.

В-четвертых, для современной науки характерно изменение метода познания: переход от натуральных экспериментов с конкретными частицами, материалами, предприятиями, процессами и т.д. к исследованию их математических моделей [3].

В-пятых, углубляется гуманизация науки. Наука совершает фронтальный поворот в сторону человека, формируется единая наука о человеке, обществе и мышлении, которая ориентируется не только на развитие техники, но, прежде всего, на развитие многосторонних способностей человека, на его воспитание и образование.

Из вышесказанного закономерно следует и тенденция «множественности», которая в определенной степени связана с распространением социального конструктивизма. Согласно мнению некоторых ученых, в научном сообществе сегодня не высказывается особых методологических альтернатив картине мира, предлагаемой социальным конструктивизмом. Вместо добротного, но старомодного представления классической науки об объективном мире и единой истине, принимается тезис о множественности равноправных описаний реальности. При этом научное знание понимается как модель мира, разделяемая данным сообществом. Социальный конструктивизм - своего рода ответ на анализ ментальных процессов как причин социального поведения когнитивной психологии, с ее ориентацией на экспериментальные методы исследования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ушаков Е.В. Наука и процессы глобальной модернизации // Сборник материалов конференции Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское философское общество. 2003. С.90-92.
2. Плохинова, М.Б. О тенденциях развития современного научного знания // Труды ВГТУ. – 2010. – № 6 Философия. С. 87-90.
3. Можарова И. В. Тенденции современной науки // Управление экономическими системами. Электронный научный журнал. – 2016. С. 1-4.

УДК 330.131.7

Магистрант А. А. Касач  
Науч. рук. доц. П.М. Бурак  
(кафедра философии и права БГТУ)

### **УСЛОВИЯ И ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РИСКОВ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ**

Развертывание различных социальных процессов на рубеже XX–XXI вв. со всей очевидностью открывает в многослойных пластах социального бытия человека наличие глубинных проблем и противоречий от решения которых зависит будущее современного общества. Важную роль в решении этих проблем играет состояние общественного сознания, в частности, его способность объективно отражать происходящее. В настоящее время человечество сталкивается с определенной закономерностью: если в предшествующие столетия при решении вопросов о перспективах общественного развития люди, под впечатлением успехов науки и промышленности, с уверенностью оценивали настоящее и будущее в позитивных ожиданиях, то ныне, когда становятся все более очевидными негативные социальные и культурные последствия данных успехов, на смену «оптимистично-радужной» картине «светлого будущего», приходит тревожно-пессимистическое миропонимание задающее совершенно иной ракурс видения тенденций современного социокультурного развития. В частности, на передний план мировоззренческих оценок выходят такие явления как «риск» (с целым веером его возможных форм: политических, экономических, социокультурных и т. д.), неопределенность будущего и другие.

Обострение интереса к потенциально отрицательным сторонам такого рода явлений, прежде всего, обусловлено характером сложившихся в обществе социальных отношений. Так, один из разработчиков теории общества риска немецкий социолог У. Бек прямо отмечает, наряду с прочими, и такую значимую особенность риска, как наличие корреляции между объемом возникающих в обществе рисков и качеством социальных отношений. Более того, он указывает, что «объем риска является функцией качества социальных отношений» [1]. Таким образом, мы видим, что проблема рискорождающего поведения имеет ярко выраженное социоантропологическое измерение и, в первую очередь, зависит от складывающихся между людьми отношений по поводу производства, распределения и потребления благ. Думается, что современное общество прочно закрепило за собой статус рискорогенного именно потому, что в сфере социальных отношений на всех уровнях функционирования системной организации жизни людей (начиная от интимно-личностной и заканчивая общественно-политической) складываются диспропорции и усиливается расхождение интересов различных групп населения.

Изменения, порождающие риски социальной нестабильности, связаны, на наш взгляд, с метаморфозами в сфере морали и нравственности, которые произошли в современном социуме. Общество словно вывернулось наизнанку, живет наоборот, следует какой-то странной антикультурной псевдологике: то, что традиционно порицалось и ограничивалось, ныне поощряется и превозносится, что считалось зазорным – становится предметом гордости, что сдерживалось и подавлялось – культивируется и продвигается. Наиболее наглядно эта тенденция просматривается в социально-экономической сфере.

Тотальная коммерциализация наиболее значимых сфер общественной жизни, таких как образование, наука, медицина и т. д. может рассматриваться как рискорождающий фактор общественного развития. В настоящее время образование ориентировано не на воспитание личностей для формирования культурной и научной элиты общества, а на поставку агентов для техноса, способного мгновенно переводить свои знания и умения в прибыль. Проблема также заключается в том, что в обществе все более укрепляется высокий ценностный статус рискорождающего поведения и рискорогенных ориентаций личности. В частности, это выражается в том, что в обществе стремительно возрастает число институализированных форм рискорогенного поведения, имеющих

легитимный статус. Таким образом, можно заключить, что профиль риска современности имеет не только ярко выраженную технико-технологическую, но и экономическую составляющую. Последняя в не меньшей, а может быть и в большей степени, чем все остальные влияет на создание рискогенной ситуации в современном обществе.

Особенность современных социокультурных рисков заключается в их латентности, «невидимости». Опасная реальность скрыта от непосредственного восприятия, недоступна обыденному знанию, а потому подпитывает иллюзию ее отсутствия. Имеет место тенденция увеличения учений многочисленных сект, возникающих с такой скоростью, что их количество уже трудно поддается учету и адепты которых в той или иной форме готовятся к неминуемому «концу света», регулярно оповещая СМИ о конкретных датах его наступления. Появляются пророки, гадалки и экстрасенсы, ведущие не только телевизионные битвы, но и иную коммерческую деятельность, призванную «улучшить» плачевную индивидуальную и коллективную судьбу. Жанр антиутопии в кино находит особый отклик и понимание у массового зрителя[2].

Не остаются в стороне от всеобщей эсхатологической лихорадки и некоторые представители науки, периодически подбрасывающие в массовое сознание информацию о возможном столкновении с очередной кометой, о перспективе смещения земной оси с катастрофическими последствиями для планеты, о дырах в атмосфере и тому подобных фактах. Такие сообщения провоцируют панические страхи в различных слоях общества.

Описанные интуиции, эсхатологические метания (наиболее характерные, кстати сказать, для самых развитых в техническом и технологическом отношении пространств планеты) свидетельствуют о том, что несмотря на кажущееся отсутствие прямых, лежащих на поверхности свидетельств связи между типом социальных отношений в обществе, способами и средствами взаимодействия его с окружающим миром происходит объективное увеличение рискогенного потенциала в современном социальном развитии. В результате осознается его неустойчивость как одна из закономерностей социальных изменений общества. а грань, отделяющая благополучие социального жизнеустройства от его деструкции и неблагополучия становится все более неопределенной с характерной для нее непредсказуемостью и духовной нестабильностью. Такого рода кризисные явления в обществе усугубляются нежеланием признавать рискогенность социального поведения. Британский социолог Энтони Гидденс справедливо

замечает, что «если люди не признают опасность, то они ей подвергаются» [3].

Поэтому, на мой взгляд, стоит прислушаться к мнению тех аналитиков, которые призывают переосмыслить весь культурный строй человеческой жизни в современном обществе и подчинить экономику – хозяйству, технику – культуре, потребление – самосовершенствованию, рациональное – духовному. Только лишь осуществив данный тектонический сдвиг в основах современного цивилизационного развития, мы имеем шанс на выживание и перспективу дальнейшего позитивного общественного развития.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бек У. Общество риска: На пути к другому модерну / Пер. с нем. В. Седелника, Н. Федоровой. - М.: Прогресс-Традиция, 2000. - 383 с. - Пер. изд.: Beck U. Risikogesellschaft. - Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1986.

2. Социология риска и безопасности : учебник и практикум для академического бакалавриата / С. А. Кравченко. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 302 с.

3. Гидденс Э. Последствия современности/ Э. Гидденс. М.: Праксис, 2011. – 343с.

УДК 140.8: 001.8

Магистрант Л. С. Грищенко  
Науч. рук. доц. к.ф.н. П. М. Бурак  
(кафедра философии и права, БГТУ)

#### **ТРАНСГУМАНИЗМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЧЕЛОВЕКА: НАДЕЖДЫ И РИСКИ**

Наука не стоит на месте, параллельно развивается и само общество. Вместе с развитием новых технологий, а также представлений о мире и месте человека в нём, зародился такой феномен, как «трансгуманизм».

*Трансгуманизм* (от лат. *trans* – сквозь, через, за и *homo* – человек) – философская концепция, а также международное движение, поддерживающие использование достижений науки и технологии для улучшения умственных и физических возможностей человека, с целью устранения тех аспектов человеческого

существования, которые трансгуманисты считают нежелательными: страдания, болезни, старение и смерть [1].

Принято считать, что само понятие «трансгуманизм» появилось у Дж. Хаксли в книге «Новые бутылки для нового вина» (1957 г.).

Джулиан Хаксли (английский биолог, эволюционист, гуманист и политик) в своей книге «Новые бутылки для нового вина» утверждал: «Я верю в трансгуманизм. Однажды наберется достаточно людей, которые действительно смогут сказать это, тогда человеческий вид будет на пороге нового состояния бытия, отличающегося от нашего также, как наше от пекинского человека. Это, наконец, и будет осознанным выполнением нашей настоящей судьбы».

Многие трансгуманисты хотят стать постлюдьми. Средства, которые они собираются использовать для превращения в постлюдей, включают в себя «молекулярную нанотехнологию, генную инженерию, искусственный интеллект, лекарства для изменения настроения и улучшения памяти, терапию против старения, носимые и вживляемые компьютеры» [2,3,4].

Одним из основоположников трансгуманизма стал Ферейдун Эсфендиари. Он родился в Бельгии, впоследствии сменил свое имя на FM-2030, чтобы выразить свою веру и надежду, что проживет как минимум 100 лет и в 2030 году отпразднует свой 100-й день рождения.

Он предсказывал исправление генетических ошибок, беременность вне человеческого тела, телеконференции, телемедицину и телешоппинг. Будучи известным как хронический оптимист, FM-2030 рисовал картины будущего с неограниченными источниками энергии. Он также верил, что синтетические органы и части тела могут сделать неуместным понятие средней продолжительности жизни, и к 1974 писал о физическом долголетии и видах на бессмертие.

8 Июля 2000 года, в возрасте 69 лет, FM-2030 скончался от рака поджелудочной железы и был крионирован компанией Алькор в городе Скоттсдейл, Аризона, где и находится по сей день [5,6].

Современные технологии, способствующие развитию трансгуманизма: нанотехнологии; биотехнологии; искусственный интеллект; крионика; клонирование.

Нанотехнологии – это технологии работы с веществом на уровне отдельных атомов. В 1959 году нобелевский лауреат Ричард Фейнман в своём выступлении предсказал, что в будущем, научившись манипулировать отдельными атомами, человечество сможет синтезировать все, что угодно. В 1981 году появился первый

инструмент для манипуляции атомами – туннельный микроскоп. Оказалось, что с помощью этого микроскопа можно не только «видеть» отдельные атомы, но и поднимать и перемещать их. Этим была продемонстрирована принципиальная возможность манипулировать атомами, а стало быть, непосредственно собирать из них, словно из кирпичиков, все, что угодно: любой предмет, любое вещество.

Генная инженерия – это область биотехнологий, включающая действия по перестройке генотипов. Уже сегодня генная инженерия позволяет включать и выключать отдельные гены, контролируя таким образом деятельность организмов, а также – переносить генетические инструкции из одного организма в другой, в том числе – в организмы другого вида. По мере того, как генетики всё больше узнают о работе генов и белков, всё более реальной становится возможность произвольным образом программировать генотип (прежде всего, человеческий), с лёгкостью достигая любых результатов: таких, как устойчивость к радиации, способность жить под водой, способность к регенерации повреждённых органов и даже бессмертие. На людях технология генной инженерии была впервые применена для лечения Ашанти Де Сильвы, четырёхлетней девочки, страдавшей от тяжёлой формы иммунодефицита. Ген, содержащий инструкции для производства белка аденозиндезаминазы (ADA), был у неё повреждён. А без белка ADA белые клетки крови умирают, что делает организм беззащитным перед вирусами и бактериями. Работающая копия гена ADA была введена в клетки крови Ашанти с помощью модифицированного вируса. Клетки получили возможность самостоятельно производить необходимый белок. Через 6 месяцев количество белых клеток в организме девочки поднялось до нормального уровня.

Искусственный интеллект – это экспериментальная научная дисциплина, задача которой – воссоздание с помощью искусственных устройств разумных рассуждений и действий. Искусственный интеллект используется в современных бионических протезах (протез ноги от Ossur). Технологии машинного зрения и распознавания образов применяются в камерах слежения и системах безопасности. Экспертные системы используются для поиска полезных ископаемых, диагностики заболеваний. Юридические программы выносят решения по мелким правонарушениям и дают консультации по сложным законам. Технологии искусственного интеллекта используются для перевода текстов, распознавания речи.

Крионика – это практика сохранения людей с помощью сверхнизких температур.

Целью крионики является сохранение только что умерших или терминальных пациентов до того момента в будущем, когда, вероятно, станут доступны технологии восстановления клеток и тканей и, соответственно, будет возможно восстановление всех функций организма.

Клонирование – это искусственное создание организмов-клонов, то есть, генетически идентичных оригинальному (донорскому) организму.

Использование технологии клонирования предоставляет уникальную возможность получать фенотипически (это все характеристики в целом, которые присущи индивиду на определенной стадии его развития) и генетически идентичных животных, которые могут быть использованы для решения различных теоретических и практических задач, стоящих перед биомедициной и сельским хозяйством. В сочетании с трансгенозом (процесс введения человеком либо природой чужеродного гена, называемого трансгеном, в живой организм) клонирование животных открывает дополнительные возможности для производства ценных биологически активных белков, используемых для лечения различных заболеваний человека. Клонирование животных позволит проводить испытания медицинских препаратов на идентичных животных. В медицине представляется перспективной клеточная терапия на базе использования клонированных клеток. Такие клетки должны компенсировать недостаток и дефект собственных клеток организма и, главное, они не будут отторгаться при трансплантации. Технология клонирования животных, по-видимому, поможет осуществлять замену отдельных органов человека на соответствующие органы клонированных животных [5,7,8].

На сегодняшний день существуют следующие риски трансгуманизма: генетическое дробление; недостижимость; высокомерие; угроза нравственности; упрощение личности; дегуманизация; социальное дробление; угроза существованию.

Изучив явление «трансгуманизма» нельзя с уверенностью утверждать, что это однозначно положительное явление для будущего человечества, также нельзя полностью отвергать его.

Благодаря современным технологиям постепенно разрабатываются различные лекарства и устройства в сфере медицины. Протезирование в свою очередь делает более удобной жизнь взрослым и детям в физическом и моральном аспекте. С



развитием 3D технологий становится возможным в перспективе заменять человеческие органы на спроектированные синтетические модели.

Но нельзя фанатически верить в будущее бессмертие и гнаться за ним, забыв о реальной жизни. Также нельзя забывать о такой угрозе, как потеря общечеловеческих ценностей, социальных программ, гражданских свобод и прав. Если в далёком будущем будут реализованы идеи искусственного интеллекта на уровне человеческого, тело человека будет роботизировано, то естественное существование человека окажется под большим вопросом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Wikipedia [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://www.wikipedia.org.ru> – Дата доступа: 18.03.2018.
2. Кутырев, В. А. ФИЛОСОФИЯ ТРАНСГУМАНИЗМА: Учебно-методическое пособие / В.А. Кутырев. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2010. – 85 с.
3. Абрамова Н. А. Трансгуманизм и перспективы развития человека // Молодежный научно-технический вестник, 2016. – №7.
4. Хаксли, Дж. Новые бутылки для нового вина / Дж. Хаксли. – Лондон: Chatto & Windus, 1957.
5. Transhumanism-russia [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://transhumanism-russia.ru> – Дата доступа: 18.03.2018.
6. FM-2030, Are you a transhuman? Monitoring and stimulating your personal rate of growth in a rapidly changing world. –New York, NY: Warner Books, 1989.–227 p.
7. Medbe [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://medbe.ru>. – Дата доступа: 25.03.2018.
8. Артюхов И. Крионика и медицина / И. Артюхов, Д. Медведев, Е.Шумилов, В.Удалова // Медична практика, 2010. – №4.

УДК 101:502

Магистрант Е.И. Семейко  
Науч. рук. доцент П. М. Бурак  
(кафедра философии и права, БГТУ)

## **ИДЕЯ ГАРМОНИИ ЧЕЛОВЕКА, ОБЩЕСТВА И ПРИРОДЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ ЭТАПАХ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

В нынешний переломный момент человеческая история приобрела, к сожалению, трагическое звучание, и особенно важной является проблема взаимоотношений человека, общества и природы. В этой связи среди многочисленных социально значимых проблем, вставших перед народами на пороге третьего тысячелетия, главное место заняла проблема выживания человечества и сохранения всего живого на Земле. Все это заставляет задуматься над тем, какими же должны быть отношения человека и природы, как найти гармонию с природой, и почему недостаточно говорить, например, только об их единстве.

Отношение человека к природе было различным в разные исторические времена. В первобытном обществе человек полностью подчинялся природе: он признавал господство природы над собой, довольствовался в своей жизни в основном естественными благами, стремился найти гармонию в отношениях с природой, чтобы наилучшим образом приспособиться к ней. В античности человек и природа мыслились как единое целое. Идеал общества – стремление жить в согласии с природой. Идеал человеческой жизни мыслился ими только в гармонии с природой.

Мир в воззрениях древних выступал как человечески-природное единство, взаимопроникновение человеческого и природного. Поэтому человеческая деятельность естественно вплеталась в жизнь вещей, которые сами выводились из объективированных условий и определений человеческой деятельности. Вода, земля, огонь и воздух являлись первыми естественными условиями и предметами труда [1].

В эпоху Средневековья отношение человека к природе меняется. В средневековой христианской философии утверждался приоритет Бога как Творца всего сущего и ущербность природы. Люди обратились к поискам сверхъестественного в собственном внутреннем мире. Они искали решение проблем исключительно тяжелой жизни в религиозной сфере. Она призвана дать надежду каждому. Согласно Священному писанию, человек – как высшее творение Бога – является господином и хозяином природы и поэтому

волен распоряжаться ею по своему разумению. Так в европейском мышлении постепенно возникает и укрепляется идея господства человека над природой [2].

В эпоху Возрождения мыслители возвращаются к античным идеалам понимания природы. Бог и природа не противопоставляются, а наоборот, сближаются. В качестве чувственно эстетического идеала философы Возрождения выдвинули лозунг «Назад к природе» [3].

В Новое время – эпоху промышленного производства – природа воспринимается человеком как безразмерная кладовая ресурсов. Ему лишь остается познать ее объективные законы с тем, чтобы преобразовывать природу в соответствии со своими потребностями и интересами. Природа превращается в сферу активной практической деятельности человека (признаётся его «мастерской»), масштабы которой постоянно растут. Однако недостаточно высокий уровень развития науки в сочетании с установками на овладение энергетическими источниками привели к хищническому ограблению природы. Производственная деятельность привела человека к огромным успехам в науке технике, но она же породила и многие проблемы, в первую очередь, – экологические.

В XX в. все больше заявляет о себе идея равенства человека и природы, выражение необходимости своеобразного диалога между ними. Такой диалог должен происходить в двух формах: теоретической – научного познания природы с целью все более глубокого овладения ее законами, и практической – деятельности по использованию природы и одновременно ее сохранению и развитию.

В итоге должно быть найдено такое соотношение, которое учитывало бы интересы и тенденции развития и человека, и природы. В современной науке для обозначения этих целей используется понятие коэволюции, обозначающее процесс совместного развития биосферы и человеческого общества.

Необходимость перехода к новому типу развития стала очевидна после того, как явственно проявились результаты изменения природы в процессе развитии цивилизации. Проблема истощения озонового слоя, глобальное изменение климата, кислотные атмосферные осадки, загрязнение мирового океана, катастрофическое сокращение лесов и опустынивание, вот лишь некоторые из глобальных экологических проблем, с которыми столкнулось человечество.

Все это является предпосылкой для разработки стратегии устойчивого развития.

Устойчивое развитие – это процесс таких изменений, в которых

эксплуатация ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического и социального развития согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей, т.е. развитие, которое обеспечивает неубывающее во времени – от поколения к поколению – качество жизни людей и природного капитала.

Концепция устойчивого развития подразумевает неограниченно долгое существование и развитие человечества. Она появилась в результате объединения трех основных составляющих: экономической, социальной и экологической.

Соединение достижений научно-технической революции с гармоничными и справедливыми общественными отношениями, создает необходимые условия и предпосылки для установления гармоничных отношений человека и природы на новой, социальной, технической и научной основе. Восстановление единства общества и природы означает не господство человека над природой и не подчинение его природе, а установление гармоничных отношений между обществом и природой, при котором сама природа становится фактором планомерного, рационально организованного процесса жизнедеятельности общества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Гайденко, П. П. *Философия природы в Античности и в Средние века* / Общ. ред. П. П. Гайденко, В. В. Петров. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 608с.

2 Межуев, В. М. *Идея культуры. Очерки по философии культуры* / В. М. Межуев. – М.: Прогресс-Традиция, 2006. – 408 с.

3 Любичанковский, В. А. *Эволюция взаимоотношений общества и природы* В. А. Любичанковский // *Журнальный клуб Интерлос*. – 2007. – № 1 [Электронный ресурс]. – 15 марта 2017. – Режим доступа: <http://intelros.ru>

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

1	<i>Савельев А.И., Сивец А.В., Орёл А.С.</i> Синтез полиненасыщенных циклических кетонов.....	5
2	<i>Савельев А.И., Сивец А.В., Орёл А.С.</i> Синтез 2,3,4,9-тетрагидро-1Н-крбазол-1-она.....	8
3	<i>Станько М.В., Ванеев А.А., Карманова Е.С.</i> Синтез 4-гексилоксианилина и его физико-химические свойства .....	11
4	<i>Белецкая М.В.</i> Загрязнение почвенного покрова рядом с Мозырской ТЭЦ.....	14
5	<i>Цуприков П.В., Казерская А.А.</i> Можно ли есть рыбу из реки Березина?!.....	18
6	<i>Козлова А.М., Мелешко О.В.</i> Оценка эффективности воздействия антимикробных препаратов на бактерии в составе биопленок.....	21
7	<i>Мелешко О.В., Казяк Д.В.</i> Оценка интенсивности формирования биопленок.....	24
8	<i>Амброжевич В.В.</i> Ферментативная кинетика восстановления кетонов.....	26
9	<i>Ахламёнок Т.П.</i> Применение алкилирующих препаратов в противоопухолевой терапии.....	29
10	<i>Гаруля А.О.</i> Применение полисахаридов при лечении онкологических заболеваний.....	32
11	<i>Люлькович Е.С.</i> Анализ Молекулярной конформации 5,10,15,20-тетраарилпорфиринов в растворах методами оптической спектроскопии.....	35
12	<i>Шлыкова Я.В.</i> Изучение антиокислительной активности экстрактов лекарственных растений коллекции ЦБС НАН Беларуси.....	38
13	<i>Зданович Д.С.</i> Изучение компонентного состава змееголовника молдавского ( <i>Dracoséphalum moldavica</i> ) с целью использования в фармацевтической промышленности.....	41
14	<i>Сороговец В.В.</i> Влияние нефтепродуктов на биологическое удаление из сточных вод соединений азота и фосфора.....	44
15	<i>Степанчикова М.В.</i> Установление дозы алюмосодержащего коагулянта для очистки природной воды из поверхностного источника.....	48
16	<i>Хильченко Т.С., Николенко Д.В.</i> Гранулирование активного ила в условиях аэрации на модельных сточных водах пивного производства.....	51

17	<i>Хильченко Т.С., Тацевич Ю.В.</i> Гранулирование активного ила в условиях аэрации на питательном бульоне.....	54
18	<i>Булай М.О., Лукашевич С.О.</i> Динамика ХПК сточных вод молочного производства в условиях гранулирования активного ила .....	56
19	<i>Смусь Е.Ю., Голуб К.Ю.</i> Создание коллекции фосфатмобилизующих бактерий.....	59
20	<i>Казмерчик Н.И.</i> Спиртовое брожение и редуктазная активность пивных дрожжей.....	62
21	<i>Марченкова Е.Ю.</i> Биотестирование биологической активности лекарственного средства «ЛАКТРИОЛ».....	65
22	<i>Стульская А.А.</i> Разработка экспресс-метода оценки уровня загрязненности сточных вод тяжелыми металлами.....	68
23	<i>Лось В.А.</i> Экстракция и определение феруловой кислоты в отходах переработки сахарной свеклы.....	72
24	<i>Леснева М.И., Война Ю.С., Мартинчик В.О.</i> Составление купажей растительных масел с высоким содержанием омега-6-ненасыщенных, омега-3 ненасыщенных жирных кислот.....	75
25	<i>Мартинчик В.О., Леснева М.И., Стрибуть А.В.</i> Разработка купажей растительных масел и исследование их термического окисления.....	78
26	<i>Стрибуть А.В.</i> Составление купажей растительных масел на основе нетрадиционного растительного сырья.....	81
27	<i>Цуприков П.В., Казерская А.А.</i> Химико-аналитические методы в контроле качества подсолнечного масла.....	84
28	<i>Война Ю.С., Гивойна Ю.Ю.</i> Изучение обжарки яблочных чипсов в растительных маслах.....	87
29	<i>Гиль Е.В., Механикова Е.Г.</i> Исследование содержания токсичных элементов в соках методом инверсионной вольтамперометрии.....	90
30	<i>Лаврусик М.В.</i> Методика колориметрического определения яичных продуктов в майонезе.....	93
31	<i>Добровольская Е.Д.</i> Оценка недельного меню столовой № 1 БГТУ и разработка предложений по его оптимизации.....	96
32	<i>Войчук Т.И.</i> Оценка статуса питания студенческой группы и разработка предложений по его оптимизации.....	99
33	<i>Крупенко П.Л.</i> Разработка недельного рациона питания школьников старших классов.....	102
34	<i>Боголепова О.В.</i> Исследование структурных параметров вулканизаторов, полученных в неизотермических условиях .....	105

35	<i>Карманов А.В., Бондаренко А.Н.</i> Исследование кинетики де- струкции резин на основе бутилкаучука под действием ио- низирующих излучений.....	108
36	<i>Борисова Ю.А., Мажукова К.В.</i> Оптические свойства экс- трактов растительного сырья Центрально-Черноземного ре- гиона России.....	110
37	<i>Власова В.В., Клепиков Д.В.</i> Экспресс- метод оценки вулка- низации резиновых смесей.....	113
38	<i>Епифанова А.В.</i> Особенности поведения экстракта краснокоч- чанной капусты при варьировании рН.....	116
39	<i>Игнатова К.С.</i> Моноглицериды жирных кислот как эмульга- торы в косметических средствах.....	119
40	<i>Коровина В.С., Алексеев К.А.</i> Термоокисление полибутадие- на в присутствии поливинилкарбазола.....	122
41	<i>Лисовцова Т.Е.</i> Исследование структурных параметров бу- тилрегенерата.....	125
42	<i>Медведева Е.В., Киргизова К.В.</i> Исследование кинетики неизо- термической вулканизации резинокордных композитов.....	126
43	<i>Сосницкая А.С., Свечникова В.А.</i> Исследование свойств ком- позиций на основе ПВХ, наполненных мелом.....	128
44	<i>Тодорук А.А.</i> Усовершенствование технологии производства втулки для автомобилей ВАЗ 2121 НИВА (ЛАДА 4x4).....	131
45	<i>Ишунькина Ю.А.</i> Получение и свойства гидрофобных фла- воноловых соединений .....	133
46	<i>Максименко А.В.</i> Изучение экстрактов БАС спектрофото- метрическим методом.....	135
47	<i>Биловус В.В.</i> Исследование свойств ПЛА, используемого в 3D-печати.....	138
48	<i>Заболотная А.С., Борисова И.А.</i> Исследование свойств по- рошка полиамида, используемого в 3D-печати.....	140
49	<i>Тесленко Д.В.</i> Исследование кинетики набухания эластомер- ных композиций, наполненных бентонитом .....	143
50	<i>Чвирова А.А., Никифорова А.Д.</i> Модификация адгезионных составов для пропитки технических тканей.....	145
51	<i>Осипенок Е.М.</i> Ингибиторы коррозии на основе имидазоли- новых соединений для защиты нефтепромыслового и неф- техимического оборудования.....	146
52	<i>Ушева О.А.</i> Применение соэкстрагента для регулирования свойств N-метилпирролидона в процессе селективной очи- стки масел .....	149

53	<i>ХаппиВако Б.Ж., Степанович Ю.А.</i> Модификация нефтяных битумов химическими отходами.....	152
54	<i>Степанович Ю.А., ХаппиВако Б.Ж.</i> Анализ технологических решений по совершенствованию производства битумных эмульсий .....	155
55	<i>Китаева Е.В.</i> Основные тенденции развития процессов изомеризации легких бензиновых фракций .....	158
56	<i>Гавлик А.М.</i> Исследование свойств эластомерных композиций с высокодисперсными добавками .....	162
57	<i>Пекарский Н.С.</i> Исследование прочностных свойств эластомерных композиций с продуктами на основе аддуктов каанифоли .....	165
58	<i>Михайлов А.Д.</i> Исследование свойств эластомерных композиций, модифицированных в комбинированной олигомерной среде .....	169
59	<i>Эсауленко Д.В.</i> Современные методы модификации алкидных пленкообразователей .....	172
60	<i>Потапчик А.Н.</i> Влияние количества аминного отвердителя на скорость коррозионных процессов под эпоксидными покрытиями .....	175
61	<i>Федорович Е.М., Громыко В.В.</i> Исследование свойств полиолефинов при введении термоэластопластов .....	178
62	<i>Автухова С.С.</i> Ионная полимеризация – основа создания новых полимеров, производимых в Беларуси .....	181
63	<i>Ляшук Л.В.</i> Изучение возможности производства полимерной упаковки для пищевой продукции.....	184
64	<i>Шиканов С.С.</i> Формирование полупроницаемых мембран из системы полифениленоксид-N-метил-2-пирролидон.....	187
65	<i>Черепко Д.Н.</i> Перспективные термостойкие полимеры для микроэлектроники .....	191
66	<i>Струц А.Д.</i> Исследование возможности катализа окисления бициклического соединения.....	194
67	<i>Станько М.В.</i> Исследование содержания $NaCl$ и $KCl$ в водах Мозырского района .....	197
68	<i>Сергеев Е.В.</i> Влияние криодеструкции на реологические и ингибирующие солеотложение свойства полимеров .....	200
69	<i>Селецкая М.А.</i> Иницирование и ингибирование реакций в органическом и нефтехимическом синтезе.....	203
70	<i>Надудик В.В.</i> Оптимизация синтеза ангидрида бициклооктендикарбоновой кислоты по реакции Дильса-Альдера.....	206
71	<i>Ключенович Д.Д.</i> Мониторинг образцов воды в регионе Солигорского района на содержание хлоридов калия и натрия.....	209



72	<i>Агеенко М.В.</i> Модифицирование битума сополимером стирол-бутадиен-стирола в присутствии ПАВ.....	212
73	<i>Линицкий П.А.</i> Изучение способов загущения безсульфатных систем ПАВ.....	215
74	<i>Дворанинович М.А.</i> Влияние экстракта розмарина на свойства крема, содержащего растительное масло.....	218
75	<i>Адамцевич Н.Ю.</i> Разработка состава шампуня на основе изучения пенообразующих свойств водных растворов ПАВ.....	221
76	<i>Бруцкая И.О.</i> Влияние загустителей на свойства водных растворов анионного поверхностно-активного вещества.....	224
77	<i>Амосова М.В.</i> Влияние вида жира на свойства сувенирного мыла.....	258
78	<i>Телеш Ю.В., Казакевич А.А.</i> Влияние вида полимерных соединений на влагопрочность бумаги.....	233
79	<i>Лавор Н.Э.</i> Получение душистых веществ на основе карвона	236
80	<i>Чуешкова В.П.</i> Особенности технологии производства термомеханической массы из древесины хвойных пород.....	238
81	<i>Протас А.А.</i> Особенности химической отбелики древесной массы хвойных пород .....	240
82	<i>Боркина Я.В.</i> Оптимизация процесса эидкофазного окисления $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии стеарата Со (II)..	244
83	<i>Афанасенко Я.А.</i> Применение отечественных добавок в качестве замены смолы melapret в технологии фильтровально-го картона.....	247
84	<i>Дударь В.А.</i> Влияние химического состава хвойных и лиственных пород древесины на способы их химической переработки в технологии целлюлозы .....	249
85	<i>Евменов В.С., Бочков И.Л.</i> Использование побочного продукта двухступенчатой гидролитической переработки торфа, получаемого при производстве шидрогумата торфа в производстве пеллет.....	251
86	<i>Пуровская В.Ч., Савайтан В.А.</i> Исследование побочных продуктов переработки торфа в производстве древесностружечных плит .....	254
87	<i>Коваленко Е.П., Рытикова П.А.</i> Использование побочного продукта окислительной деструкции торфа в аммиачной среде в производстве пеллет.....	256
88	<i>Шелков Н.А.</i> Влияние размеров щепы на способы ее дальнейшей химической переработки.....	259
89	<i>Титков Д.В.</i> Свойства щелочной целлюлозы в зависимости от технологических режимов регенерации черных щелоков и протекающих процессов выпаривания, сжигания и каустизации.....	262

90	<i>Дешев А.А.</i> Особенности получения бленой химико-термомеханической массы и использования ее в композиции полиграфического картона .....	265
91	<i>Боровой С.В.</i> Особенности сульфатной варки, кислородной делигнификации и отбелки щелочной целлюлозы .....	268
92	<i>Полуянова Д.Г.</i> Антимикробная активность некоторых компонентов эфирных масел хвойных растений .....	272
93	<i>Крым А.Н., Лесковец М.Г.</i> Использование ГЖХ для определения антиоксидантной активности эфирных масел.....	277
94	<i>Минаков Г.И.</i> Синтез и физико-химические свойства слоистого титаната висмута, легированного оксидом празеодима.....	278
95	<i>Сташкевич Р.В., Пестов Д.К.</i> Модификация анодно-оксидных пленок на сплавах алюминия соединениями хрома и никеля.....	281
96	<i>Вериго Г.Л., Марчевский Д.А., Савчик Е.В.</i> Потенциометрическое определение алюминия с использованием фторидселективного электрода.....	285
97	<i>Касач А.А., Потихонин Д.Е.</i> Электроосаждение сплава медь-олово в нестационарных условиях .....	287
98	<i>Касач А.А., Клементович С.К.</i> Особенности электроосаждения медных покрытий в ультразвуковом поле .....	290
99	<i>Кручик В.И., Дорожук Д.С.</i> 1,3-диарилпиразолоны – ключевые промежуточные вещества в синтезе экстрагентов ряда пиразолонов .....	293
100	<i>Осипенко М.А.</i> Сонохимическая модификация перманганатом калия нанодированного сплава алюминия АД31.....	296
101	<i>Сасновская К. А.</i> Сравнительный анализ политики управления человеческими ресурсами в Японии, США и Германии.....	299
102	<i>Валькова В. И.</i> Самодетерминация и позитивная свобода (иллюзии и реалии личной свободы).....	302
103	<i>Гайдук Г. Ю.</i> «Революция менеджеров»: социально-философский анализ.....	306
104	<i>Амбражевич Е. И., Повидайко П. В.</i> Потребительское общество как социально-философский концепт.....	310
105	<i>Липинский Вл. Э.</i> Теория мультивселенной в космологии и философии.....	313
106	<i>Цалко В. В.</i> Информационные угрозы и информационная безопасность общества.....	317
107	<i>Ермолаева К.Д.</i> Социально-экологическая безопасность общества в контексте загрязнения планеты.....	321

## Секция ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ

1	<i>Юркевич А.С.</i> Биокomпостирование скопа, образующегося на ОАО «СКБЗ «Альбертин».....	326
2	<i>Кравченко М.Л.</i> Сравнительная характеристика способов обращения с отработанными электролитами цинкования.....	329
3	<i>Кузьменкова О.Ю.</i> Отходы гальванического производства и способы обращения с ними.....	333
4	<i>Косевич Е.В., Елец И.Н., Остапук О.Н.</i> Влияние смесей для посыпки дорог на состояние почвенного и растительного покрова.....	336
5	<i>Шецко А.Е.</i> Разработка составов глушенных стекол для производства сортовой посуды.....	339
6	<i>Петуховская А.Г.</i> Разработка составов стекол, ослабляющих электромагнитное излучение СВЧ-диапазона.....	342
7	<i>Мухлядо В.И.</i> Разработка составов масс и технологии получения защитных покрытий для футеровки тепловых агрегатов	346
8	<i>Маскевич В.В.</i> Разработка составов стекол, предназначенных для экранирования излучения радиочастотного диапазона	349
9	<i>Белугин Д.С.</i> Разработка составов масс теплоизоляционных керамических материалов с использованием легкоплавких глин Республики Беларусь.....	353
10	<i>Кузьбар Л.В.</i> Разработка литий-алюмосиликатных материалов для получения высокотермостойких изделий.....	357
11	<i>Апанасёнок И.В.</i> Получение керамогранита с использованием пиррофиллит-каолиновой породы.....	360
12	<i>Баравский Ю.И.</i> Прозрачные износостойкие полуфриттованные глазури для плиток грес.....	364
13	<i>Гончар А.И.</i> Разработка составов стеклогерметиков для твердооксидных топливных элементов.....	368
14	<i>Ерш Е.А.</i> Металлизированные износостойкие глазури для Керамогранита.....	371
15	<i>Карпова В.А.</i> Составы медицинских стекол с пониженным содержанием $V_2O_3$ .....	375
16	<i>Ларионов П.С.</i> Использование низкотемпературной плазмы для обработки поверхности термостойких текстолитов.....	379
17	<i>Гуща И.А.</i> Термохимическая обработка медицинского стекла для повышения водостойкости.....	382
18	<i>Козлова В.В.</i> Разработка технологии получения гранулированных теплоизоляционных материалов на основе отходов сортировки стеклянных изделий.....	386

19	<i>Шинелько Ю.С.</i> Получение ферромагнитных керамических материалов для компонентов электронной техники.....	390
20	<i>Супрунчук Е.А.</i> Износостойкие керамические материалы на основе системы $TiO_2 - R_xO_y$ ( $R - Al, Si, Ca, Mg$ ).....	393
21	<i>Шнигир Е.И.</i> Ангобы для декорирования майоликовых Изделий.....	396
22	<i>Стойков В.О., Ковалевская Е.С.</i> Получение разделительных покрытий и жароупорных безобжиговых изделий на основе гранитоидных отсевов, базальтов и фосфатной связки.....	400
23	<i>Чивиль В.В.</i> Разработка составов керамических масс для изготовления лицевого кирпича.....	403
24	<i>Летченя А.В.</i> Составы, свойства и структура износостойких стеклокристаллических материалов.....	406
25	<i>Янушевский В.И.</i> Получение ячеистого бетона с пониженным содержанием газообразователя.....	409
26	<i>Суховская К.Ю.</i> Получение силикатного кирпича с использованием отходов производства.....	414
27	<i>Судникович Т.М.</i> Разработка составов минеральной добавки для предотвращения высолов на поверхности бетона.....	417
28	<i>Матвеева Е.А.</i> Разработка составов ячеистобетонных смесей с ускоренным темпом набора пластической прочности.....	421
29	<i>Кондаков П.Н.</i> Исследование возможности применения модифицирующего цемента сверхтонкого помола.....	424
30	<i>Комаров М.А.</i> Получение синтетического дигидрата сульфата кальция и переработка его на гипсовые вяжущие.....	427
31	<i>Романовская А. В., Кононович Д. В.</i> Синтез оловянно-молибденовых оксидных композитов на массивах углеродных нанотрубок для микроэлектроники.....	431
32	<i>Никонов Е. В., Красовская Ю. С., Шкода И. А.</i> Применение математических методов для расчета гетерогенных равновесий в растворах электролитов, реализованных в Mathcad.....	434
33	<i>Галковский Т. В.</i> Особенности формирования и электронно-транспортные свойства пленочных структур, включающих полупроводниковые оксиды Sn, W, Mo.....	438
34	<i>Новицкая М.С.</i> О влиянии условий получения на физико-химические и эксплуатационные свойства модифицированного нанодисперсного диоксида титана.....	443
35	<i>Печенова Г.Г., Саскевич В.В.</i> Синтез и диэлектрические свойства твердых растворов на основе феррита висмута.....	447
36	<i>Кузьмицкий Д.В.</i> Система технического зрения на основе нейронной сети Хопфилда.....	452

37	<i>Лакуцевич В.И., Сенкевич Б.В.</i> Методы построения систем подстройки регуляторов.....	456
38	<i>Демидов О.К.</i> Оценка надёжности автоматизированной системы управления шахтной вентиляции.....	460
39	<i>Стаблецкий В.А., Чакур Д.И.</i> Моделирование гибридных систем управления.....	464
40	<i>Косолапов А.В., Клындюк С.Н.</i> Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором как объекта управления.....	468
41	<i>Бирюкова Н.Н., Цеван А.Н.</i> Построение систем управления процессами водоподготовки.....	472
42	<i>Бирюкова В.Н., Ахралович Р.И.</i> Системы управления процесса дозирования сухих компонентов пеногипсомешалки при производстве гипсокартона НА ОАО «БЕЛГИПС».....	476
43	<i>Павлюкевич Д.Ю., Гармаза А.А.</i> Синтез системы управления объектом с распределенными параметрами.....	480
44	<i>Петровский М. В.</i> Преимущества вентильно-индукторных двигателей перед асинхронными.....	484
45	<i>Лакуцевич В.И., Липский П.Л.</i> ERP Система. Модуль работы с внешними пользователями.....	488
46	<i>Шкудун Д.П., Жукович М.С.</i> Синтез считывания информации с диска.....	492
47	<i>Брель Н.М.</i> Исследование основных информационных переменных процесса размола в рафинёре.....	496
48	<i>Рудь А. М., Широков А.В.</i> Система управления процессом приготовления фритты.....	499
49	<i>Гвоздев М.М., Шульга Т.А.</i> Оценка влияния нелинейных свойств исполнительного механизма на настройку Регулятора.....	503
50	<i>Лыков Р.А.</i> Синтез системы управления давлением в выходном коллекторе системы водоотведения.....	507
51	<i>Бочарова Т.Ю.</i> Синтез системы адаптивного управления процессом роста биомассы.....	508
52	<i>Семернин Е.А.</i> Методы сокращения избыточности информации в АСУТП.....	512
53	<i>Семидоцкий Д.В.</i> Исследование робастной цифровой системы регулирования процесса синтеза аммиака при вариации параметров модели объекта.....	513
54	<i>Давлетшин К.М., Мурзич С.В.</i> Математическая модель исследования процесса экспорта (импорта) электроэнергии в энергообъединении Республики Беларусь.....	517

55	<i>Гончаров Е.П.</i> Оптимизация процесса ректификации этилбензола по модели многокомпонентной ректификации	521
56	<i>Алексеев В.Л., Лаврусик Е.Е.</i> Совершенствование систем управления электроприводами на основе принципов подчинённого регулирования и самоорганизации.....	524
57	<i>Козловский В.Ю., Шилин А.М.</i> Варианты синтеза системы контурами управления асинхронным двигателем.....	528
58	<i>Василевич А.А., Павловец А. Н.</i> Метод функций Ляпунова	532
59	<i>Селиверстов С.А.</i> Информационная система планирования производства продукции на молочном заводе.....	534
60	<i>Селиверстов А.А.</i> Информационная система управления запасами с фиксированным интервалом между заказами.....	536
61	<i>Липай В.Д., Давидович А. Н.</i> Повышение робастности (запаса устойчивости) при использовании интегрального критерия качества для настройки регуляторов.....	538
62	<i>Алешкевич Р.Ч., Фоменко А.В.</i> Анализ структурных схем регуляторов с двумя степенями свободы.....	542
63	<i>Лаврусик Е.Е., Давидовский Н.В.</i> О влиянии времени квантования на интегральный критерий.....	546
64	<i>Пантелеенко Е.О.</i> Сравнительный анализ процесса помола в роторной и планетраной мельницах.....	549
65	<i>Ахрамович В. И.</i> Моделирование движения сыпучих сред по вращающемуся диску.....	553
66	<i>Орлов И. А.</i> Метод определения скорости диска заглаживающей машины с планетарным приводом.....	557
67	<i>Семенов Е. А.</i> Анализ надежности высоконагруженных узлов валкового пресса.....	560
68	<i>Герасимчик С. А.</i> Определение коэффициента сопротивления радиальных вентиляторов с одинаковыми углами наклона лопастей.....	565
69	<i>Воронцов Р.А.</i> Использование отхода масложирового предприятия для получения моющего средства.....	568
70	<i>Крачевская В.Г., Борисевич И.А.</i> Жидкие комплексные NP и NPS удобрения на основе карбамидсодержащих водно-солевых систем.....	572
71	<i>Васеха А. П.</i> Характеристики вязких свойств композиций на основе полимерсодержащих отходов ОАО «Белцветмет»....	576
72	<i>Ковалевский А. С.</i> Кинематика привода катящегося колеса...	581
73	<i>Черник И.А.</i> Электрохимическое осаждение сплава Ni-Sn-TiO <sub>2</sub> .....	585
74	<i>Черник И.А.</i> Коррозионные и антибактериальные свойства сплава Ni-Sn-TiO <sub>2</sub> .....	588

### Секция ГУМАНИТАРНЫХ НАУК

1	<i>Адамцевич Н.Ю.</i> Конвергентные технологии в инновационном развитии общества.....	592
2	<i>Прищепов А.А.</i> Ценностные ориентации современного общества.....	595
3	<i>Касперович В.В.</i> Четвертая промышленная революция. цифровая экономика: достижения и риски .....	598
4	<i>Данильчик Е.С.</i> Философские аспекты достижения энергетической безопасности.....	602
5	<i>Кравченко М.Л.</i> Экологическая культура и ее роль в преодолении духовного кризиса общества.....	606
6	<i>Латич О.М.</i> Проблемы сохранения и развития белорусской национальной культуры в эпоху глобализации.....	609
7	<i>Павловский Н.В.</i> Феномен экологизации науки и экологическая экспертиза научных проектов.....	612
8	<i>Василевский А.С.</i> Направления и тенденции развития современной науки.....	615
9	<i>Касач А.А.</i> Условия и характерные особенности рисков в современном обществе.....	618
10	<i>Грищенко Л.С.</i> Трансгуманизм и перспективы человека: надежды и риски.....	621
11	<i>Семейко Е.И.</i> Идея гармонии человека, общества и природы на различных исторических этапах их взаимодействия.....	628

Научное издание

Ответственный за выпуск Е.О. Черник

**69-я НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
УЧАЩИХСЯ, СТУДЕНТОВ  
И МАГИСТРАНТОВ**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ РАБОТ**

В 4-х частях

Часть 2

В авторской редакции

Компьютерная верстка Е.О. Черник, А.В. Сильванович

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

ЛИ №02330/0549423 от 08.04.2009.

ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.

Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.